

Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

**AVALIAÇÃO DA OZONIZAÇÃO COMO PRÉ OU PÓS-
TRATAMENTO À FILTRAÇÃO DIRETA DESCENDENTE NA
REMOÇÃO DE CIANOBACTÉRIAS E SAXITOXINAS**

Luiz Carlos de Melo Filho

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Luiz Sens

Setembro, 2006

Ficha Catalográfica:

Melo Filho, L.C. Avaliação da ozonização como pré ou pós-tratamento à filtração direta descendente na remoção de cianobactérias e saxitoxinas.

Luiz Carlos de Melo Filho – Florianópolis – SC, 2006, xx – 263p. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – 2006.

Título em Inglês: Evaluation of Ozonation as Pre- or Post-Treatment to the Direct Descending Filtration for the Removal of Cyanobacteria and Saxitoxins.

"Tudo surgiu da água. Tudo é mantido pela água."

(Goethe)

Dedico este trabalho aos meus pais, Luiz Carlos e Sílvia Maria de Melo, sempre pacientes e incentivadores. A eles devo as minhas conquistas e, acima de tudo, a própria vida.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Maurício Luiz Sens, pela orientação e sobretudo por entender e respeitar as limitações humanas;

A Renata (Rê) Iza Mondardo, minha companheira de campo desde 2002, por ter me auxiliado em todas as tarefas da pesquisa. Sem o seu apoio este trabalho teria sido impossível;

A Ramon Lucas Dalsasso que disponibilizou o sistema piloto de filtração direta por ele construído, bem como a utilização da sua metodologia de trabalho. A ele devem-se ainda a construção e constantes modificações nos reatores de transferência de ozônio.

À Professora Roselane Laudaes Silva, coordenadora do Laboratório de Ficologia (LABFIC) da UFSC, por todas as análises quantitativas de cianobactérias. Os seus conhecimentos transmitidos nas disciplinas de *“Ecologia de comunidades fitoplanctônicas de águas continentais”* e *“Comunidades de cianobactérias e algas em sistemas de abastecimento e tratamento de água”* foram essenciais na minha preparação.

Aos membros do Laboratório de Oceanografia Biológica - Algas Nocivas da UNIVALI, Professor Luís Antônio de Oliveira Proença, Márcio da Silva Tamanaha e Mathias Alberto Schramm, pela valiosa e indispensável colaboração na realização das análises de saxitoxinas.

Aos antigos e atuais membros do Laboratório de Potabilização de Águas (LAPOÁ) da UFSC que, de alguma forma, contribuíram para a concretização deste trabalho: Anelisa Silva Schmidt, Caroline Canapini Dalago, Clarissa (Clá) Soares, Denise Conceição de Goes Santos, Deverson Simioni, Dimas Tadao Murakami, Heloisa Rachel Willrich Boel, Kalil Grass Calim, Luiza Mouta, Marcelo Emmendoerfer, Marcus Bruno Domingues Soares, Rafael Miguel e Zacarias Navarro Roa.

Aos membros do Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA) e do Laboratório de Toxicologia Ambiental (LABTOX) da UFSC, Professor William Gerson Matias (coodenador), Cátia Regina (Catita) da Silva Carvalho Pinto (pesquisadora) e Arlete Malvina Medeiros (laboratorista), pelo empréstimo de equipamentos e vidrarias.

Aos membros do Laboratório de Reuso das Águas (LARA) da UFSC, Professor Flávio Rubens Lapolli (coodenador) e Maria Elisa Nagel Hassemer (pesquisadora), pela disponibilização do digestor.

À Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN) pela parceria que permitiu o desenvolvimento da pesquisa junto à Estação de Tratamento de Água da Lagoa do Peri.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de doutorado.

Agradecimentos especiais

Aos amigos Flávio Osvaldo Teixeira e Cláudio de Souza Sandner. Ao Flávio, por me dirigir a palavra certa nos momentos de desânimo e de dúvidas. E ao Cláudio, distante no espaço, mas que, graças aos meios eletrônicos de comunicação, contribuiu para a revisão gramatical do texto.

“ *De tudo restaram três coisas ...*” Às amigas Rê, Clá e Catita, pela amizade e preocupação.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE QUADROS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

RESUMO

ABSTRACT

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	6
2.1. Objetivo Geral	6
2.2. Objetivos Específicos	6
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
3.1. Cianobactérias e Cianotoxinas	7
3.1.1 Características das cianobactérias	7
3.1.2 Florações de cianobactérias	8
3.1.3 Função e classificação das cianotoxinas	9
3.1.4 A espécie <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	12
3.1.5 Saxitoxinas	14
3.1.5.1 Artigos da Portaria 518 relacionados às saxitoxinas	16
3.1.5.2 Método de análise de saxitoxinas	17
3.1.5.3 Conversão das concentrações de variantes de saxitoxina em equivalentes de saxitoxina	18
3.1.6 Remoção de cianobactérias e cianotoxinas em estações de tratamento de água	18
3.1.6.1 Alguns estudos relacionados à remoção de cianobactérias	20
3.1.6.2 Alguns estudos relacionados à remoção de cianotoxinas	21
3.1.6.3 Alguns estudos relacionados à remoção de cianotoxinas por ozônio	22
3.1.6.4 Considerações finais sobre a remoção de cianobactérias e cianotoxinas	25
3.2. Ozonização	25
3.2.1 Considerações iniciais sobre o emprego da ozonização no tratamento de água	25
3.2.2. Propriedades químicas do ozônio	26
3.2.3. Mecanismos de reação do ozônio dissolvido em água	27
3.2.4. Transferência de ozônio	28
3.2.5. Análises para determinação da concentração de ozônio	29

3.2.6. Emprego da ozonização como pré- ou pós-tratamento	30
3.3. Filtração Direta Descendente	32
4. METODOLOGIA	36
4.1. Considerações iniciais	36
4.2. Produtos químicos utilizados na pesquisa	40
4.3. Ensaio de coagulação em jarrest	41
4.4. Ensaio no sistema piloto	43
4.4.1. Dosagens de ozônio e tempo de contato na pré-ozonização e na pós-ozonização	44
4.4.2. Descrição e funcionamento do sistema piloto	45
4.4.2.1. Chegada da água bruta ao sistema piloto de tratamento	45
4.4.2.2. Pré-ozonização	49
4.4.2.3. Reservatório de água bruta ou pré-ozonizada e câmara de nível constante	51
4.4.2.4. Câmara de mistura rápida (coagulação química)	51
4.4.2.5. Filtro	52
4.4.2.6. Carreiras de filtração	54
4.4.2.7. Pós-ozonização	54
4.4.3. Avaliação das seqüências de tratamento investigadas	55
4.4.3.1. Pontos de coleta das amostras e os parâmetros avaliados	55
4.4.3.2. Tratamento das amostras	57
4.4.3.3. Métodos analíticos e equipamentos utilizados	58
4.4.3.4. Análise quantitativa das cianobactérias	59
4.4.3.5. Análise da concentração de saxitoxinas	60
4.4.3.5.1. Extração e concentração da fração intracelular	61
4.4.3.5.2. Purificação das amostras	61
4.4.3.5.3. Análises em cromatografia líquida de alta eficiência com derivatização pós-coluna e detecção por fluorescência (adaptação de Oshima, 1995).	62
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
5.1. Fase experimental 1	64
5.1.1. Ensaio de coagulação em jarrest	64
5.1.2. Ensaio no sistema piloto de filtração direta – Qualidade da água filtrada e duração das carreiras de filtração	66
5.2. Fase experimental 2	71
5.2.1. Ensaio de coagulação em jarrest	71
5.2.2. Ensaio no sistema piloto de filtração direta	73
5.2.2.1. Qualidade da água filtrada e duração das carreiras de filtração	73

5.2.2.2. Avaliação das seqüências de tratamento investigadas	77
5.2.2.2.1. Qualidade da água produzida	77
5.2.2.2.2. Remoção de cianobactérias	79
5.2.2.2.3. Remoção de saxitoxinas	83
5.3. Fase experimental 3	87
5.3.1. Avaliação da concentração de ozônio a ser empregada na pré-ozonização	87
5.3.2. Ensaio de coagulação em jarreste	88
5.3.3. Ensaio no sistema piloto de filtração direta	90
5.3.3.1. Qualidade da água filtrada e duração das carreiras de filtração	90
5.3.3.2. Avaliação das seqüências de tratamento investigadas	94
5.3.3.2.1. Qualidade da água produzida	94
5.3.3.2.2. Remoção de cianobactérias	96
5.3.3.2.3. Remoção de saxitoxinas	100
5.4. Comparação entre os resultados das três fases experimentais	107
5.4.1. Duração das carreiras de filtração e qualidade da água produzida	107
5.4.2. Remoção de cianobactérias e saxitoxinas	111
6. CONCLUSÕES	117
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	120
APÊNDICE – A (Fase experimental 1)	122
APÊNDICE – B (Fase experimental 2)	147
APÊNDICE – C (Fase experimental 3)	179
8. BIBLIOGRAFIA	249

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Foto da <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> e quadro de sua classificação.	13
Figura 3.2 – Estrutura química das saxitoxinas.	14
Figura 3.3 – Possíveis formas da estrutura molecular do ozônio devido à ressonância magnética.	26
Figura 3.4 – Reações entre o ozônio e compostos orgânicos na água.	27
Figura 4.1 – Quadro de fotos esquematizando a localização da ETA da Lagoa do Peri e do laboratório L.A.L.P. com o sistema piloto de filtração direta.	37
Figura 4.2 – Aparelho de jarreste com FLA.	41
Figura 4.3 – Esquema do piloto utilizado na fase experimental 1.	46
Figura 4.4 – Esquema do piloto utilizado na fase experimental 2.	47
Figura 4.5 – Esquema do piloto utilizado na fase experimental 3.	48
Figura 4.6 – Esquema dos pontos de coleta de amostra nos ensaios com pré-ozonização.	56
Figura 4.7 – Esquema dos pontos de coleta de amostra nos ensaios com pós-ozonização.	56
Figura 5.1 – Diagrama de coagulação do hidroxiclreto de alumínio para água bruta – Fase 1.	65
Figura 5.2 – Diagrama de coagulação do hidroxiclreto de alumínio para água pré-ozonizada (1,0mgO ₃ /L) – Fase 1.	66
Figura 5.3 – Comparação da variação da perda de carga e qualidade da água filtrada entre carreiras realizadas sem e com pré-ozonização – Fase 1.	69
Figura 5.4 – Comparação da perda de carga no meio filtrante entre carreiras realizadas sem e com pré-ozonização – Fase 1.	70
Figura 5.5 – Diagrama de coagulação do sulfato de alumínio para água bruta – Fase 2.	71
Figura 5.6 – Diagrama de coagulação do sulfato de alumínio para água pré-ozonizada – Fase 2.	72
Figura 5.7 – Comparação da variação da perda de carga e qualidade da água filtrada entre carreiras realizadas sem e com pré-ozonização – Fase 2.	75
Figura 5.8 – Comparação da perda de carga no meio filtrante entre carreiras realizadas sem e com pré-ozonização – Fase 2.	76
Figura 5.9 – Número de células de cianobactérias nas diferentes etapas das seqüências de tratamento investigadas – Fase 2.	82
Figura 5.10 – Concentração de saxitoxinas – expressa em equivalentes de STX/L – nas diferentes etapas das seqüências de tratamento investigadas – Fase 2.	85
Figura 5.11 – Diagrama de coagulação do sulfato de alumínio para água bruta – Fase 3.	88
Figura 5.12 – Diagrama de coagulação do sulfato de alumínio para água pré-ozonizada – Fase 3.	89

Figura 5.13 – Comparação da variação da perda de carga e qualidade da água filtrada entre carreiras realizadas sem e com pré-ozonização – Fase 3.	92
Figura 5.14 – Comparação da perda de carga no meio filtrante entre carreiras realizadas sem e com pré-ozonização – Fase 3.	93
Figura 5.15 – Número de células de cianobactérias nas diferentes etapas das seqüências de tratamento investigadas – Fase 3.	99
Figura 5.16 – Concentração de saxitoxinas – expressa em equivalentes de STX/L – nas diferentes etapas das seqüências de tratamento investigadas – Fase 3.	106

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 – Principais grupos de cianotoxinas, os respectivos órgãos-alvo e os gêneros de cianobactérias produtoras.	11
Quadro 3.2 – Estrutura química das saxitoxinas.	15
Quadro 4.1 – Resumo da metodologia e das condições empregadas na pesquisa.	39
Quadro 4.2 – Parâmetros de controle e métodos analíticos utilizados nos ensaios de coagulação.	43
Quadro 4.3 – Tratamento e preservação das amostras	57
Quadro 4.4 – Relação dos parâmetros de qualidade da água, metodologias e equipamentos utilizados na avaliação das seqüências de tratamento.	58
Quadro 4.5 – Resumo das condições cromatográficas empregadas nas fases 2 e 3.	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Valores de toxicidade relativa de algumas saxitoxinas.	18
Tabela 3.2 – Condições de ozonização empregada para destruição das saxitoxinas.	24
Tabela 3.3 – Sugestão de alguns valores de parâmetros de qualidade de água para o emprego da filtração direta descendente.	32
Tabela 4.1 – Composição do meio filtrante utilizado no filtro durante a fase experimental 1 (meio L1).	53
Tabela 4.2 – Composição do meio filtrante utilizado no filtro durante a fase experimental 2 e 3 (meio L2).	53
Tabela 5.1 – Resultado das carreiras de filtração com e sem pré-ozonização – Fase 1.	67
Tabela 5.2 – Resultado das carreiras de filtração com e sem pré-ozonização – Fase 2.	73
Tabela 5.3 – Análises da água bruta e produzida nas seqüências de tratamento – Fase 2.	78
Tabela 5.4 – Contagem do número de cianobactérias nas amostras de água das diferentes etapas das seqüências de tratamento dos ensaios 2.1 e 2.2 – Fase 2.	79
Tabela 5.5 – Contagem do número de cianobactérias nas amostras de água das diferentes etapas das seqüências de tratamento dos ensaios 2.3 e 2.4 – Fase 2.	80
Tabela 5.6 – Concentração dos tipos de saxitoxinas analisadas nas amostras de água das diferentes etapas das seqüências de tratamento dos ensaios da Fase 2.	84
Tabela 5.7 – Valores de turbidez, cor aparente e células de cianobactérias para diferentes dosagens de ozônio utilizadas na pré-ozonização – Fase 3.	87
Tabela 5.8 – Resultado das carreiras de filtração com e sem pré-ozonização – Fase 3.	90
Tabela 5.9 – Resultados das análises da água bruta e produzida na seqüências de tratamento – Fase 3.	95
Tabela 5.10 – Contagem do número de cianobactérias nas amostras de água das diferentes etapas das seqüências de tratamento dos ensaios 3.1 e 3.2 – Fase 3.	96
Tabela 5.11 – Contagem do número de cianobactérias nas amostras de água das diferentes etapas das seqüências de tratamento dos ensaios 3.3 e 3.4 – Fase 3.	97
Tabela 5.12 – Concentração dos tipos de saxitoxinas analisadas nas amostras de água das diferentes etapas da seqüência de tratamento do ensaio 3.1 – Fase 3.	101
Tabela 5.13 – Concentração dos tipos de saxitoxinas analisadas nas amostras de água das diferentes etapas da seqüência de tratamento do ensaio 3.2 – Fase 3.	102
Tabela 5.14 – Concentração dos tipos de saxitoxinas analisadas nas amostras de água das diferentes etapas da seqüência de tratamento do ensaio 3.3 – Fase 3.	103
Tabela 5.15 – Concentração dos tipos de saxitoxinas analisadas nas amostras de água das diferentes etapas da seqüência de tratamento do ensaio 3.4 – Fase 3.	104

Tabela 5.16 – Condições operacionais empregadas e qualidade da água produzida nas seqüências de tratamento das três fases	107
Tabela 5.17 – Resumo dos resultados de remoção de cianobactérias e saxitoxinas das fases experimentais 2 e 3.	112

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANTX – anotoxina-a
 ANTX-s – anotoxina-a(s)
 CASAN – Companhia Catarinense de Águas e Saneamento
 CD – coeficiente de desuniformidade
 Cél. – célula
 CLAE – cromatografia líquida de alta eficiência
 COD – carbono orgânico dissolvido
 COT – carbono orgânico total
 CNRC – Conseil National de Recherches Canada
 CTTMar – Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar
 CYN – cilindrospermopsina
 dcSTX – decarbomoilsaxitoxina
 dcGTX2 – decarbomoilgoniautoxina 2
 dcGTX3 – decarbomoilgoniautoxina 3
 eq. – equivalente
 ETA – estação de tratamento de água
 FD – filtração direta
 FDD – filtração direta descendente
 FLA – filtro de laboratório de areia
 FUNASA – Fundação Nacional de Saúde
 GTX – goniautoxina
 GTX1 – goniautoxina 1
 GTX2 – goniautoxina 2
 GTX3 – goniautoxina 3
 GTX4 – goniautoxina 4
 GTX5 – goniautoxina 5
 HCA – hidroxicloreto de alumínio
 HPLC - High Performance Liquid Chromatography
 Ind. – indivíduo
 LABFICO – Laboratório de Ficologia
 LALP – Laboratório de Águas da Lagoa do Peri
 LAPOÁ – Laboratório de Potabilização de Águas
 LETC – Laboratório de Ecofisiologia e Toxicologia de Cianobactérias
 LPS – lipopolissacarídeos
 LWTX – toxinas de *Lyngbya wollei*
 MCYS – microcistinas
 m-LA – microcistina -LA
 m-LR – microcistina -LR
 MON – matéria orgânica natural
 ND – não detectado
 NEO – neosaxitoxina
 NI – não identificado
 N - normal
 NLO – número limiar de odor
 NR – não houve remoção
 OMS – Organização Mundial da Saúde
 Pré-O₃ – pré-ozonização
 Pós-O₃ – pós-ozonização
 PGTX – padrão cromatográfico contendo goniautoxina e decarbomoilgoniautoxina
 PSP – Paralytic Shellfish Toxins
 PSTX – padrão cromatográfico contendo neosaxitoxina, decarbomoilsaxitoxina e saxitoxina

rpm – rotação por minuto
SA – sulfato de alumínio
STD – sólidos totais dissolvidos
STX – saxitoxina
STX s – saxitoxinas
UNIVALI – Universidade do Vale do Itajaí
UPA – unidade padrão de área
VMP – valor máximo permitido

LISTA DE SÍMBOLOS

E – eficiência (%)
G_{mr} – gradiente de velocidade de mistura rápida
G – gradiente de velocidade
I – símbolo do elemento químico iodo
O₃ – fórmula molecular do gás ozônio
OH – radical hidroxila
Q_a – vazão de água (L/h)
Q_g – vazão de gás (L/h)
T – tempo de contato no reator (min)
T – toxicidade relativa
T_{mr} – tempo de mistura rápida
V_a – volume da água no reator (L)
V_g – vazão de gás (L)
T_b – tempo de borbulhamento (min)
[O₃]_{feed} – concentração de ozônio (no gás) no ponto de aplicação do reator de transferência (mg/L)
[O₃]_{off} – concentração de ozônio (no gás) no ponto de saída do reator de transferência (mg/L)
[O₃]_t – concentração de ozônio transferida para a água (mg/L)
Σ – somatório
λ – comprimento de onda (nm)
Ø – diâmetro

RESUMO

O emprego da tecnologia da filtração direta descendente não é recomendado para o tratamento de água proveniente de manancial com elevada densidade de cianobactérias. A sua aplicação poderia ser considerada apenas depois de um pré-tratamento da água. A ozonização é apresentada na literatura técnica especializada como capaz de promover uma remoção eficiente de cianobactérias. Contudo, a aplicação da ozonização antes da remoção das células de cianobactérias potencialmente tóxicas exige cautela, pois pode promover lise das células e, conseqüentemente, liberação de toxinas para a água. O presente trabalho investiga a ozonização como método alternativo de pré ou pós-tratamento para a filtração direta descendente na remoção de cianobactérias e saxitoxinas. A investigação experimental foi conduzida num sistema piloto construído numa estação de tratamento de água em Florianópolis, cujo manancial, a Lagoa do Peri, apresenta elevada densidade da espécie *Cylindrospermopsis raciborskii*. A concentração deste microrganismo durante todo o período desta pesquisa, variou entre $7,06 \times 10^5$ e $1,28 \times 10^6$ células/mL. Os experimentos foram agrupados em três fases. A fase 1 investigou somente a pré-ozonização em relação à duração das carreiras de filtração e à qualidade da água produzida. A dosagem de ozônio empregada foi de $1,0 \text{ mgO}_3/\text{L}$ e o tempo de contato de 2,3 minutos. A ozonização foi investigada nas fases experimentais 2 e 3 como pré ou pós-tratamento à filtração direta descendente. As análises de qualidade da água nestas fases avaliaram a concentração de cianobactérias e saxitoxinas. Na fase 2 a pré-ozonização foi realizada com a dosagem de $2,0 \text{ mgO}_3/\text{L}$ e o tempo de contato de 2,2 minutos, e a pós-ozonização com $1,0 \text{ mgO}_3/\text{L}$ e 2,2 minutos. Na fase 3 a pré-ozonização foi realizada com a dosagem de $4,5 \text{ mgO}_3/\text{L}$ e um tempo de contato de 5,0 minutos, e a pós-ozonização com $6,0 \text{ mgO}_3/\text{L}$ e 5,5 minutos. O método de análise das saxitoxinas foi a cromatografia líquida de alta eficiência com derivatização pós-coluna e detecção por fluorescência. Os resultados demonstraram que a pré-ozonização reduziu a dosagem de coagulante em até 56%, e prolongou o tempo das carreiras de filtração em até 52%. Em relação à remoção de cianobactérias, o melhor desempenho foi obtido com a ozonização empregada como pré-tratamento. A taxa média de remoção de cianobactérias na pré-ozonização seguida de filtração direta descendente foi de 99,6%. Apesar da aparente eficiência, a densidade de cianobactérias na água filtrada, cerca de $4,4 \times 10^3$ células/mL, é considerada alta. A concentração de saxitoxinas presente na água da Lagoa do Peri esteve sempre muito baixa durante as investigações experimentais, em torno de $3,2 \text{ } \mu\text{g/L eq. STX/L}$. Este fato contribuiu para que as concentrações na água tratada se aproximassem do limite de detecção do método de análise, o que prejudicou a avaliação da eficácia da pré e da pós-ozonização. Mesmo assim, pôde-se concluir que a pré-ozonização em composição com a filtração direta descendente foi mais eficiente na remoção de saxitoxinas. A concentração média de saxitoxinas na água produzida através desta composição foi de $0,02 \text{ } \mu\text{g/L eq. STX/L}$. Apesar de inferior ao valor máximo permitido no padrão de potabilidade brasileiro, a concentração de saxitoxinas na água tratada não pode ser subestimada, uma vez que ainda não se conhecem as conseqüências de sua ingestão a longo prazo em baixas concentrações.

Palavras-chave: cianobactérias, saxitoxinas, ozonização, filtração direta descendente, tratamento de água

ABSTRACT

The use of direct descendent filtration is not recommended for the treatment of water from a reservoir with high density of cyanobacteria. The use of this method could be considered only after the pre-treatment of the water. Ozonization is referred by the literature as an effective method to remove cyanobacteria. However, the use of ozonization to remove the potentially toxic cyanobacteria should be regarded with caution, because it may destroy the cells and, therefore, release toxins into the water. The present study investigates the performance of ozonization as pre- or post-treatment to the direct descendent filtration taking into account the elimination of cyanobacteria and saxitoxins. The experiments were performed in a pilot-scale system, built at a water treatment plant coupled to the reservoir Lagoa do Peri, located in Florianópolis. The mentioned reservoir contains high densities of *Cylindrospermopsis raciborskii*, which, during the performance of the experiments, varied from 7.06×10^5 to 1.28×10^6 cells/mL. The experiments were divided in three phases. During the phase 1 pre-ozonization was investigated based on filtration time and quality of the water. The a dosage of ozone used was $1.0 \text{ mgO}_3/\text{L}$ and the contact time was 2.3 minutes. The ozonization was investigated in phases 2 and 3 as a pre or post-treatment to be applied in the direct descendent filtration. During these two phases the quality of the water was evaluated according to the concentration of cyanobacteria and saxitoxins. The pre-ozonization in phase 2 was performed with a dosage of $2.0 \text{ mgO}_3/\text{L}$ and a contact time de 2.2 minutes, and the post-ozonization with $1.0 \text{ mgO}_3/\text{L}$ and 2.2 minutes. In phase 3, for the pre-ozonization the dosage was $4.5 \text{ mgO}_3/\text{L}$ and the contact time 5 minutes and, for the post-ozonization $6.0 \text{ mgO}_3/\text{L}$ and 5.5 minutes. High performance liquid chromatography, using derivatization post-column and fluorescence, was the method used to determine the presence of saxitoxins. The results showed that pre-ozonization was capable to promote a reduction up to 56% in the dosage of the coagulant. Pre-ozonization also prolonged the time of filtration up to 52%. The best performance in removing cyanobacteria was obtained by the ozonization used as pre-treatment. Pre-ozonization followed by direct descendent filtration removed, in average, 99.6% of cyanobacteria. Despite of the effective result, the concentration of cyanobacteria is still relatively high in the water, about 4.4×10^3 cells/mL. The concentration of saxitoxins in the water of Lagoa do Peri remained very low during the whole set of experiments, approximately $3.2 \mu\text{g}/\text{L}$ eq. STX/L. The low concentrations of the saxitoxins were very close to the limit of detection of the method of analysis, representing a limitation for a better evaluation of the pre- and post-ozonization's performance. Nevertheless, we could conclude that ozonization followed by direct filtration showed to be the most effective method. In fact, saxitoxins concentrations were, in average, $0.02 \mu\text{g}/\text{L}$ eq. STX/L. Taking into account the legal brazilian requirements for potable water, this amount is situated below the highest level of the recommended concentration. Anyway, the mentioned concentrations cannot be underestimated, since the consequences of chronic ingestion of low concentrations of saxitoxins are not known.

Key-words: cyanobacteria, saxitoxins, ozonization, direct descendent filtration, water treatment

1. INTRODUÇÃO

A presença de espécies nocivas de cianobactérias é um problema crescente que, por todo o mundo, afeta os mananciais de água de superfície utilizados para abastecimento público. Segundo Jardim et al.(2003), esses microrganismos passaram a fazer parte da lista dos chamados **patógenos emergentes**.

As cianobactérias são organismos microscópicos que possuem características tanto de bactérias quanto de algas. São seres procariontes, ou seja, não apresentam núcleo celular delimitado por membrana e a sua parede celular é semelhante à das bactérias. Por outro lado, assim como as algas, contêm clorofila *a*, realizam fotossíntese e liberam oxigênio. Estas "**algas-bactérias**", sob determinadas condições, podem proliferar-se de maneira excessiva, originando as denominadas florações.

As florações de cianobactérias têm efeitos muito negativos nos mananciais utilizados para abastecimento, pois são causadoras de gosto e odor indesejáveis e, além disso, são acompanhadas por uma alta carga de matéria orgânica. Os problemas mais sérios, porém, são causados pelas toxinas (cianotoxinas) produzidas pelas espécies nocivas.

De acordo com a sua ação, podem considerar-se dois tipos principais de cianotoxinas: as **neurotoxinas** e as **hepatotoxinas**. As neurotoxinas agem no sistema nervoso e, em decorrência da paralização dos músculos respiratórios, podem causar a morte. As hepatotoxinas, por sua vez, têm o fígado como órgão-alvo, pois causam lesão dos hepatócitos (células do fígado), e podem destruir completamente a estrutura interna deste órgão.

Devido à sua capacidade altamente invasora a *Cylindrospermopsis raciborskii*, dentre as espécies de cianobactérias potencialmente tóxicas, tem sido objeto de estudo de diversos pesquisadores e autoridades sanitárias. Ela ocorre em corpos de água de todo o mundo, numa ampla diversidade de habitats. Dá origem a

florações de elevada densidade e, além disso, produz toxinas extremamente agressivas, tais como as saxitoxinas, também conhecidas por "venenos paralisantes de mariscos", que agem no sistema neuromuscular. A *Cylindropermopsis raciborskii* produz ainda a cilindropermopsina, um alcalóide com ação deletéria no fígado e nos rins.

Vários autores (MATTHIENSEN et al., 1999; JARDIM et al., 2002; YUNNES et al., 2003) têm confirmado a presença cada vez mais freqüente da *Cylindropermopsis raciborskii* em reservatórios de diversas regiões do Brasil. A primeira evidência de produção de saxitoxinas por cianobactérias na América do Sul é atribuída por Lagos et al. (1999) a florações de *Cylindropermopsis raciborskii* em reservatórios da cidade de São Paulo em 1996. Proença et al. (1999), por sua vez, destacaram a predominância de saxitoxinas nas florações de *Cylindropermopsis raciborskii* na região sul do país. De fato, uma anterior publicação de Kertész (1999) já relatava que as florações de *Cylindropermopsis raciborskii* foram causadoras de sérios problemas no tratamento de água no Rio dos Sinos, Rio Grande do Sul, durante o Outono e o Verão de 1999.

Segundo Di Bernardo (1992), em estações de tratamento onde são empregadas a coagulação, floculação e decantação, antes da filtração, as cianobactérias flutam nos decantadores e são carregadas para os filtros, obstruindo-os após poucas horas de funcionamento. Este fato resulta num aumento do volume de água necessário para a lavagem dos filtros e provoca também frequentes paralisações no sistema de tratamento de água. A resistência química, a morfologia e a flutuabilidade da *Cylindropermopsis raciborskii* foram apontadas por Yunnes et al. (2000) como as características que possibilitam a passagem destas cianobactérias de maneira praticamente intacta através das diversas etapas do tratamento convencional da água, aparecendo, inclusive, na água já tratada.

Este indesejável fenômeno já foi observado na Estação de Tratamento de Água da Lagoa do Peri a qual, desde setembro de 2000, abastece a costa leste/sul da Ilha de Santa Catarina. Esta estação, onde se utiliza a tecnologia da filtração direta de escoamento descendente, passa por sérias dificuldades operacionais nos períodos em que se verifica um elevado número de cianobactérias no seu manancial. A composição fitoplanctônica desta lagoa já foi estudada por diversos especialistas (LAUDARES SILVA, 1999; MATTHIENSEN, 2001; GRELLMANN, 2006) em diferentes ciclos anuais. Todos foram unânimes em apontar a *Cylindrospermopsis raciborskii* como a espécie de cianobactéria mais importante, não só devido à sua constância e abundância como também devido à sua dominância em alguns meses do ano.

No Brasil o número de estudos sobre a eficácia da remoção de cianotoxinas através dos processos convencionais de tratamento de água é ainda limitado. Do mesmo modo, os efeitos da exposição humana às cianotoxinas através da ingestão da água são pouco conhecidos. Mesmo assim, o Brasil é um dos poucos países que possuem uma lei federal, Portaria número 1469 de 2000 – substituída pela Portaria número 518 de 2004 – do Ministério da Saúde (Brasil, 2004), que obriga a detecção das cianobactérias e das cianotoxinas na água destinada ao abastecimento público. A lei prevê uma investigação semanal de cianotoxinas na saída do tratamento sempre que o número de cianobactérias na água do manancial, no ponto de captação, exceder a 20.000 células/mL (ou 2mm³/L de biovolume). As análises semanais de cianotoxinas podem ser dispensadas sempre que não houver comprovação de toxicidade na água bruta verificada através de bioensaios em camundongos. A Portaria MS 518/2004 também recomenda que as análises de cianotoxinas incluam a determinação de cilindropermopsina e de saxitoxinas, cujos valores máximos recomendados na água potável são de, respectivamente, 15,0 µg/L e 3,0µg/L de equivalentes de STX/L.

Embora sem contemplar análise de toxicidade na água bruta, um monitoramento do fitoplâncton realizado na Lagoa do Peri de Março de 2001 a Março de 2003, revelou que, em mais de 90% das análises mensais, a densidade de cianobactérias ultrapassou o limite de $2\text{mm}^3/\text{L}$, atingindo, por vezes, valores superiores a $80\text{ mm}^3/\text{L}$ (Mondardo e Sens, 2004).

Cientes da realidade, um convênio firmado entre o Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e a Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN) possibilitou a implantação do Laboratório de Águas da Lagoa do Peri (LALP) e, por conseguinte, permitiu o desenvolvimento de pesquisas na área de Tecnologias de Tratamento de Água. A fim de solucionar o preocupante problema da Estação de Tratamento de Água da Lagoa do Peri, o Professor Maurício Luiz Sens conduziu, juntamente com alunos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA/ENS/UFSC), uma série de pesquisas no LALP. O objetivo dos trabalhos era possibilitar, através da realização de pré-tratamento, ou da incorporação de operações unitárias, que a tecnologia da filtração direta descendente fosse capaz de tratar água com elevada densidade de fitoplâncton. Estas pesquisas deram origem a várias publicações. Garcia (2002), por exemplo, estudou a eletroflotação na remoção de fitoplâncton; Silveira (2003) utilizou micropeneiras como pré-tratamento à filtração direta; Dalsasso (2005) avaliou a floculação em meio granular fixo e expandido com diferentes materiais para aplicação em filtração direta descendente e, por seu turno, Mondardo (2004) investigou a cloração e a ozonização como pré-tratamentos para a filtração direta descendente. Convém lembrar que nenhum dos estudos contemplou a remoção de cianotoxinas dissolvidas na água bruta e nem a possibilidade de liberação das mesmas por lise celular durante as diferentes etapas dos sistemas de tratamento.

A pré-ozonização da água com floração de cianobactérias é apresentada como um assunto polêmico pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em sua publicação *Toxic cyanobacteria in water* (WHO,1999). Neste documento, a OMS reconhece os efeitos benéficos da pré-ozonização sobre os processos convencionais de tratamento de água mas, ao mesmo tempo, mostra-se relutante quanto à aplicação do ozônio na água bruta, ou seja, na água em que a remoção das cianobactérias ainda não foi realizada e onde a liberação de toxinas por lise celular ainda é possível. A OMS recomenda que o emprego da ozonização deva ser avaliado em relação ao melhor ponto de aplicação, à dosagem e ao tempo de contato do ozônio, principalmente em águas com alta concentração de matéria orgânica. Note-se que, sempre que a matéria orgânica estiver presente em alta concentração, corre-se o risco de que grandes concentrações de ozônio possam ser consumidas antes de poderem promover a oxidação de cianotoxinas.

Se é verdade que a ozonização é benéfica para o tratamento da água, não é menos verdade que é preciso observar cuidadosamente as condições adequadas para o seu emprego, sobretudo em águas com alta concentração de matéria orgânica.

O presente trabalho propõe-se a investigar a ozonização como método alternativo de pré ou pós-tratamento para a filtração direta descendente na remoção de cianobactérias e saxitoxinas. Esta investigação procura responder a questões ainda não satisfatoriamente abordadas na literatura especializada, que é falha quanto a estudos sobre a remoção de saxitoxinas com as tecnologias de tratamento de água atualmente empregadas. Além disso, lança uma luz sobre possíveis soluções para o problema da remoção das saxitoxinas através do aperfeiçoamento dessas tecnologias, tal como é o caso da filtração direta descendente.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo investigar o desempenho da ozonização aplicada como pré ou pós-tratamento à filtração rápida de escoamento descendente (filtração direta) no tratamento de água com elevada densidade de cianobactérias, particularmente da *Cylindrospermopsis raciborskii*; procurando avaliar não só a remoção destes microrganismos, como também a remoção de saxitoxinas.

2.2. Objetivos Específicos

- Avaliar a aplicabilidade da tecnologia da filtração direta descendente no tratamento de água com elevada densidade de cianobactérias;
- Avaliar o efeito da pré-ozonização sobre a dosagem de coagulante e a duração das carreiras na filtração direta de escoamento descendente;
- Avaliar a eficiência da ozonização empregada como pré ou pós-tratamento à filtração direta descendente em relação à qualidade da água produzida;
- Determinar a dosagem e o tempo de contato necessário para que o ozônio, em composição com a filtração direta descendente, remova as cianobactérias e as saxitoxinas;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Cianobactérias e Cianotoxinas

3.1.1. Características das cianobactérias

As cianobactérias ou cianofíceas são também conhecidas como algas azuis, como preferem os botânicos. São microrganismos aeróbios fotoautotróficos, isto é, fotossintetisantes, cujas atividades metabólicas requerem somente água, dióxido de carbono, substâncias inorgânicas e luz. O seu sistema fotossintético é semelhante ao das algas (vegetais eucariontes) e, do mesmo modo, apresentam os pigmentos (clorofila-*a*, ficobilinas, ficocianinas, ficoeritrinas e carotenóides) que absorvem a energia solar para realização da fotossíntese (AZEVEDO, 1998).

A estrutura e organização celular das cianobactérias são caracterizadas pela ausência de organelas envoltas por membranas, ou seja, são organismos procariontes e, portanto, bioquímica e estruturalmente muito semelhantes às bactérias (AZEVEDO, 1998).

Tais características metabólicas e estruturais conferem-lhes uma classificação um tanto confusa, pois, se por um lado os botânicos (ficologistas) agrupam-nas como microalgas (algas azuis), por outro lado, os microbiologistas tendem a classificá-las como bactérias (cianobactérias).

A descoberta de fósseis em rochas sedimentares do noroeste da Austrália permite estimar que as cianobactérias surgiram há cerca de 3,5 bilhões de anos. Elas estão, portanto, entre os organismos pioneiros na Terra e, muito provavelmente, constituem os primeiros produtores primários de matéria orgânica a liberar oxigênio na atmosfera primitiva (AZEVEDO, 1998).

A capacidade de crescimento nos mais diferentes meios, sejam fontes termais, solo, rochas ou águas de diferentes salinidade e temperaturas, é uma das características marcantes das cianobactérias. As espécies que vivem em solos e

rochas desempenham um importante papel nos processos funcionais do ecossistema e na ciclagem de nutrientes. (AZEVEDO, 1998).

Ambientes de água doce são, contudo, os mais importantes para o seu crescimento, visto que a maioria das espécies apresenta um melhor crescimento em águas neutro alcalinas (pH 6 - 9), com temperaturas entre 15 e 30°C e alta concentração de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo (CARMICHAEL, 1994).

As cianobactérias podem apresentar-se como simples células isoladas, em filamentos ou colônias, apresentando tamanhos variando de 20 µm (unicelulares) a 200µm (filamentosas ou coloniais) (HARMFUL ALGAE NEWS, 1992).

Uma outra característica das cianobactérias é a formação de florações, ou seja, crescimento explosivo, bem delimitado e de curta duração, envolvendo uma ou poucas espécies. De acordo com Yunnes et al. (2003), cerca de 300 espécies de cianobactérias já foram descritas como formadoras de florações.

3.1.2. Florações de cianobactérias

Interações entre fatores físicos, químicos e biológicos favorecem o intenso crescimento das cianobactérias na superfície da água, formando uma densa camada de células com vários centímetros de profundidade. De acordo com Yunnes et al. (2000), dentre estes fatores estão a baixa hidrodinâmica do ambiente, que propicia a deposição da forma resistente desse microrganismo (cistos e acinetos); a incidência de luz solar (fotossíntese); o pH entre 7,8 e 8,0; a temperatura da água $\geq 20^{\circ}\text{C}$; a razão nitrogênio e fósforo (N:P) entre 10:1 e 16:1 e a disponibilidade de nutrientes e metais essenciais. Segundo a mesma fonte, o processo de eutrofização dos corpos d'água eleva a incidência destas florações.

A incidência de florações de cianobactérias em mananciais de abastecimento público tem sido cada vez mais relatada no Brasil, pois a maioria dos reservatórios

de água apresenta as condições necessárias para o crescimento destes microrganismos durante todo o ano.

As florações podem ser causadoras de vários problemas aos mananciais de abastecimento de água, principalmente a alteração do sabor e odor da água (relacionada geralmente à presença das substâncias 2-metil-isoborneol e geosmina) e a liberação de grandes quantidades de toxinas (cianotoxinas). Tudo isto representa um sério risco à saúde do ser humano.

Segundo Di Bernardo et al. (2003), estudos realizados no Laboratório de Ecofisiologia e Toxicologia de Cianobactérias da Universidade Federal do Rio de Janeiro (LETC-IBCCF-UFRJ) têm confirmado a ocorrência de cepas tóxicas de cianobactérias em reservatórios de abastecimento público de água dos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Pará, Bahia, Pernambuco e Distrito Federal. Segundo os autores, quando testadas em bioensaios de toxicidade ou por análises químicas, 82% das cepas isoladas mostraram-se tóxicas, mais especificamente 9,7% neurotóxicas, e as restantes hepatotóxicas.

Atualmente são conhecidos aproximadamente 150 gêneros de cianobactérias, dos quais 46 espécies foram já identificadas como potencialmente tóxicas a vertebrados (CUNHA et al., 2003).

Yunnes et al. (2003) citam as seguintes espécies nocivas que formam florações: *Anabaena flos-aquae*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Microcystis aeruginosa*, *Nodularia spumigena* e *Planktothrix agardhii*.

3.1.3. Função e classificação das cianotoxinas

As cianotoxinas constituem um grupo de diversas toxinas produzidas pelas cianobactérias. Carmichael (1992) define toxinas como compostos secundários que produzem efeitos nocivos em outros tecidos, células ou organismos. Compostos

secundários referem-se àqueles compostos que não são usados pelo organismo no metabolismo primário. Incluem os hormônios, antibióticos, aleloquímicos e toxinas.

A função exata das cianotoxinas é desconhecida, mas a persistência da informação genética na regulação e produção destes metabólicos secundários indica que devam conferir algum benefício às cianobactérias, tais como, *defesa contra predação, relações simbiótica, excreção de produtos indesejáveis, e mesmo, metabólicos de reserva*. É pouco provável que a produção abundante destes compostos tenha resistido à evolução das cianobactérias sem que apresentasse uma função biológica importante, mesmo porque, a biossíntese de metabólicos secundários geralmente requer dez ou mais reações mediadas por diferentes enzimas.

De acordo com a sua estrutura química, as toxinas das cianobactérias podem ser classificadas em três grandes grupos: peptídeos cíclicos; alcalóides e lipopolissacarídeos. A classificação principal, porém, baseia-se na sua ação sobre determinados tecidos, órgãos-alvo ou organismos. Segundo esta classificação, as cianotoxinas são agrupadas em hepatotoxinas, neurotoxinas e dermatotoxinas.

As neurotoxinas, têm uma ação rápida e manifestam-se sob a forma de tontura e perda de coordenação motora, podendo ocasionar paralisação dos músculos da respiração, o que causa morte por parada respiratória poucos minutos após a exposição à água (AZEVEDO, 1998). São as seguintes as neurotoxinas já definidas química e funcionalmente: anotoxina-a (alcalóide), anotoxina-a(s) (organofosforado natural) e saxitoxinas (carbamatos alcalóides).

As hepatotoxinas são a causa mais comum de intoxicação pelas cianobactérias. Quando comparadas com as neurotoxinas, apresentam ação mais lenta, causando a morte de vertebrados entre poucas horas e poucos dias em decorrência de hemorragia intra-hepática e choque hipovolêmico (AZEVEDO, 1998). As hepatotoxinas já definidas química e funcionalmente são as seguintes:

microcistinas (heptapeptídeos cíclicos), nodularinas (pentapeptídeos) e cilindropermopsina (alcalóide).

As toxinas irritantes ao contato, conhecidas também por dermatotoxinas, têm sido identificadas como lipopolissacarídeos (LPS), os quais também são encontrados nas membranas celulares de bactérias Gram negativas.

O quadro 3.1 apresenta os principais grupos de cianotoxinas, os respectivos órgãos-alvo e os gêneros de cianobactérias produtoras.

Quadro 3.1 - Principais grupos de cianotoxinas, os respectivos órgãos-alvo e os gêneros de cianobactérias produtoras.

Grupo de Cianotoxina	Órgão-Alvo	Gênero de Cianobactérias
Peptídeos cíclicos		
➤ Microcistinas (MCYS)	Fígado, rins	<i>Microcystis, Anabaena, Planktothrix, Oscillatoria, Nostoc, Hapalosiphon, Anabaenopsis, Aphanocapsa</i>
➤ Nodularinas	Fígado	<i>Nodularia</i>
Alcalóides		
➤ Cilindropermopsina (CYN)	Fígado, rins	<i>Cylindropermopsis, Umezakia, Aphanizomenon</i>
➤ Anotoxina-a (ANTX)	Sinapse nervosa	<i>Anabaena, Planktothrix, Oscillatoria, Aphanizomenon, Cylindropermum</i>
➤ Anotoxina-a(s) (ANTX-s)	Sinapse nervosa	<i>Anabaena, Planktothrix</i>
➤ Saxitoxinas (STXs)	Axônios nervosos	<i>Anabaena, Aphanizomenon, Lyngbya, Cylindropermopsis, Planktothrix</i>
Lipopolissacarídeos (LPS)	Irritante potencial; afeta qualquer tecido exposto.	Todos

Fonte: Modificado da Organização Mundial da Saúde – OMS – (WHO, 1999).

No Brasil, a análise das saxitoxinas em amostras de água para consumo humano é de extrema importância, pois um grande aumento de cepas do gênero *Cylindropermopsis*, produtoras deste grupo de neurotoxinas, tem sido observado em vários mananciais de abastecimento, desde a região Nordeste até a região Sul do país (FUNASA, 2003). Ainda de acordo com a mesma fonte, em muitos reservatórios, incluindo alguns recém construídos, este gênero já é dominante e

atinge um número de células muito acima dos limites máximos aceitáveis, cujo risco para saúde humana não pode ser desprezado.

3.1.4. A espécie *Cylindrospermopsis raciborskii*

A espécie *Cylindrospermopsis raciborskii*, inicialmente descrita em 1913 como *Anabaena raciborskii*, foi separada do gênero *Anabaenopsis* em 1972 (SANT'ANNA et al., 2003). Grande parte dos dados sobre a ocorrência da espécie *Aphanizomenon flos-aquae* em corpos de água doce tropical, inclusive do Brasil, foi incorretamente classificada e podem, atualmente, ser atribuídas à *Cylindrospermopsis raciborskii* (KOMARKOVÁ, 1998).

A espécie *Cylindrospermopsis raciborskii* foi observada originalmente em regiões tropicais, mas atualmente vem formando florações também em ambientes temperados. Isto demonstra a sua alta capacidade de adaptação e vantagem competitiva, as quais possibilitaram uma rápida expansão em diferentes zonas do globo terrestre (PADISÁK, 1997).

No território brasileiro, estudos recentes em 8 reservatórios mostram que a *Cylindrospermopsis raciborskii* constitui uma das cianobactérias mais importantes quanto à dominância em sistemas tropicais eutróficos rasos, pois dominou em 5 dos 8 reservatórios investigados (HUSZAR et al., 1994). Bouvy et al. (1999) destacaram que a *Cylindrospermopsis raciborskii* estava presente em 31 de 40 reservatórios de água de abastecimento analisados no Estado de Pernambuco, sendo que num deles, a densidade celular chegou ao número de 4 milhões de organismos por mililitro.

Alguns autores (LAUDARES SILVA, 1999; MATTHIENSEN, 2001; MONDARDO, 2004; GRELLMANN, 2006) monitoraram a composição fitoplanctônica da Lagoa do Peri, manancial de água de abastecimento da costa sul e leste da Ilha de Santa Catarina, durante diferentes ciclos anuais, e todos identificaram a

Cylindrospermopsis raciborskii como a espécie de cianobactéria mais importante, em função de sua constância e dominância em alguns meses e abundância nos demais.

A figura 3.1 apresenta foto de *Cylindrospermopsis raciborskii* e quadro resumo de sua atual classificação .

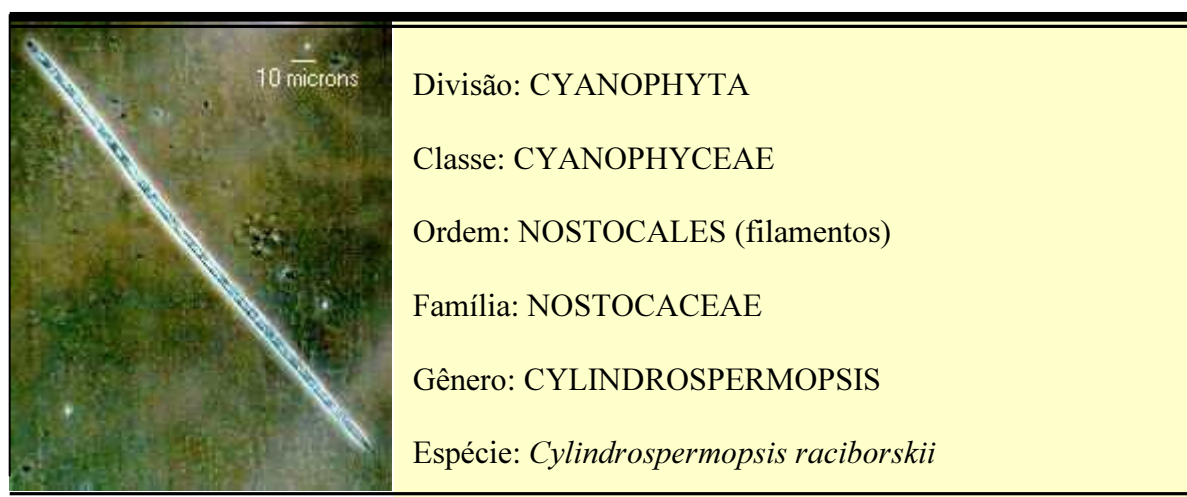


Figura 3.1: Foto da *Cylindrospermopsis raciborskii* e quadro de sua classificação.
Fonte da Imagem: Burks & Schneegurt – Cyanosite (2003).

A alta competitividade em ambientes eutrofizados aliada à capacidade de formar florações e produzir toxinas fazem da *Cylindrospermopsis raciborskii* uma das cianobactérias mais estudadas, tanto do ponto de vista ecológico como de saúde pública (SANT'ANNA, 2003).

De acordo com vários autores (LAGOS et al., 1999; SANT'ANNA, 2003; YUNNES, 2003), a *Cylindrospermopsis raciborskii* pode produzir mais de um tipo de toxina. Entre as toxinas produzidas por esta espécie de cianobactéria estão a cilindrospermopsina (CYN) e algumas variantes de saxitoxina (STXs). Proença et al. (2003) destacaram a predominância da produção de saxitoxinas nas florações de *Cylindrospermopsis raciborskii* na região sul do Brasil.

3.1.5. Saxitoxinas

Saxitoxinas é um nome genérico que se tem adotado para o grupo de neurotoxinas conhecidas como "venenos paralizantes de mariscos" (toxinas do tipo PSP), as quais foram primeiramente isoladas de dinoflagelados marinhos (microalgas), responsáveis pela ocorrência de marés vermelhas.

Estas neurotoxinas constituem um grupo de alcalóide de carbamatos que podem ser não sulfatados (saxitoxina), com um único grupamento sulfato (G-toxinas) ou com dois grupamentos sulfato (C-toxinas). Além destas, estruturas com grupamento decarbamoil (dcSTX ou dcGTX) e novas toxinas relacionadas têm sido recentemente isoladas (WHO, 1999).

No Brasil, segundo Yunnes (2003), entre as saxitoxinas já caracterizadas a partir de diferentes cepas de cianobactérias, os tipos mais encontrados nas amostras são a neosaxitoxina (NEO) e as goniautoxinas 2 e 3 (GTX 2-3).

A figura 3.2 e o quadro 3.2 mostram a estrutura química geral das saxitoxinas e os tipos de saxitoxinas já caracterizados a partir de diferentes cepas de cianobactérias.

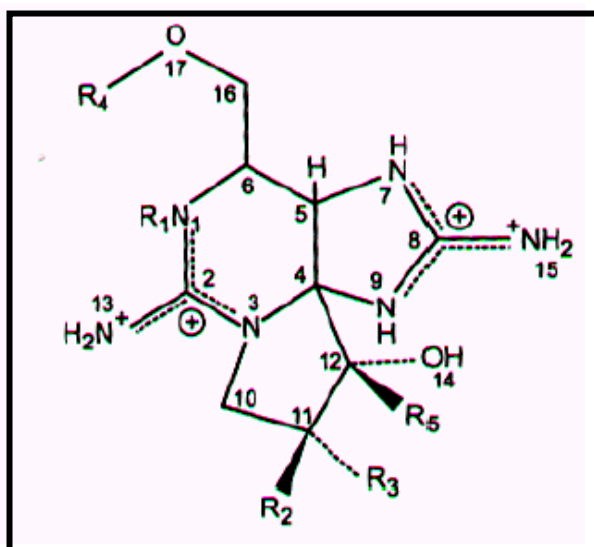


Figura 3.2: Estrutura química das saxitoxinas.

Fonte: Modificado da OMS (WHO,1999).

Quadro 3.2 - Estrutura química das saxitoxinas.

Toxina	Grupos químicos variáveis nas saxitoxinas				
	R1	R2	R3	R4	R5
STX	H	H	H	CONH ₂	OH
GTX2	H	H	OSO ₃ ⁻	CONH ₂	OH
GTX3	H	OSO ₃ ⁻	H	CONH ₂	OH
GTX5	H	H	H	CONHSO ₃ ⁻	OH
C1	H	H	OSO ₃ ⁻	CONHSO ₃ ⁻	OH
C2	H	OSO ₃ ⁻	H	CONHSO ₃ ⁻	OH
NEO	OH	H	H	CONH ₂	OH
GTX1	OH	H	OSO ₃ ⁻	CONH ₂	OH
GTX4	OH	OSO ₃ ⁻	H	CONH ₂	OH
GTX6	OH	H	H	CONHSO ₃ ⁻	OH
dcSTX	H	H	H	H	OH
dcGTX2	H	H	OSO ₃ ⁻	H	OH
dcGTX3	H	OSO ₃ ⁻	H	H	OH
LWTX1	H	OSO ₃ ⁻	H	CONH ₃	H
LWTX2	H	OSO ₃ ⁻	H	CONH ₃	OH
LWTX3	H	H	OSO ₃ ⁻	CONH ₃	OH
LWTX4	H	H	H	H	H
LWTX5	H	H	H	CONH ₃	OH
LWTX6	H	H	H	CONH ₃	H

STX: saxitoxina dcSTX: decarbamoilsaxitoxinas GTX: goniautoxinas dcGTX: decarbamoilgoniautoxinas

C: C-toxinas LWTX: toxinas de *Lyngbya wollei* NEO: neosaxitoxina

Fonte: Modificado da OMS (WHO,1999).

Segundo Jones e Negri (1997, citados por FUNASA, 2003), a degradação das saxitoxinas em temperatura ambiente e no escuro se dá através de uma série de lentas reações de hidrólise química. As C-toxinas perdem seu grupamento N-carbamoilsulfato e se transformam em decarbamoil goniautoxinas (dc-GTXs). As dc-GTXs, GTXs e STX vão sendo lentamente degradadas em produtos não tóxicos. O tempo necessário para degradar 50% do total destas toxinas varia de 1 a 10 semanas, sendo freqüentemente necessários mais de três meses para a degradação de 90% das moléculas. Entretanto, ainda de acordo com a mesma fonte, como as dc-GTXs são muito mais tóxicas que as C-toxinas (10 a 100 vezes), pode acontecer um aumento da toxicidade da água durante as primeiras três semanas após a ocorrência de uma floração de cianobactérias produtoras de saxitoxinas dos tipos C-toxinas e GTXs-toxinas.

A maioria dos casos de intoxicações humanas por saxitoxinas está associada ao consumo de aproximadamente 200 µg de saxitoxinas (STXs) por pessoa (WHO,1999). Embora a Organização Mundial da Saúde (OMS) considere que ainda não há dados suficientes para o estabelecimento de um limite de concentração máximo aceitável para as saxitoxinas na água potável, no Brasil, através da Portaria 518 do Ministério da Saúde, é recomendado que este valor seja de 3,0 µg/L de equivalentes de saxitoxinas por litro (eq. STX/L).

3.1.5.1. Artigos da Portaria 518 relacionados às saxitoxinas

A Portaria nº 518 de 25 março de 2004 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004) estabelece os padrões de potabilidade da água para consumo humano. Os artigos 4º, 14º e 17º não só definem as saxitoxinas, como também recomendam os valores limites e estabelecem a metodologia de análise.

Artigo 4º

XI.

c) saxitoxinas: grupo de alcalóides carbamatos neurotóxicos produzido por cianobactérias, não sulfatados (saxitoxinas) ou sulfatados (goniautoxinas e C-toxinas) e derivados decarbamil, apresentando efeitos de inibição da condução nervosa por bloqueio dos canais de sódio.

Artigo 14º

§ 1º Recomenda-se que as análises para cianotoxinas incluam a determinação de cilindrospermopsina e saxitoxinas (STX), observando, respectivamente, os valores limites de 15,0µg/L e 3,0µg/L de equivalentes STX/L.

Artigo 17º

§ 1º Para análise de cianotoxinas, até o estabelecimento de especificações em normas nacionais ou internacionais que disciplinem a matéria, devem ser adotadas as metodologias proposta pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em sua publicação *Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management*.

3.1.5.2. Método de análise de saxitoxinas

O método mais usual proposto pela Organização Mundial da Saúde {"Toxic Cyanobacteria in Water: A Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring and Management", Editado por Chorus & Bartram (WHO, 1999)} para a determinação da concentração de saxitoxinas é o da cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) com derivatização pós-coluna e detecção por fluorescência, o qual foi descrito por Oshima et al. (1995, citado por WHO, 1999). O método foi desenvolvido inicialmente para análises de saxitoxinas no ambiente marinho, particularmente em mariscos, mas posteriormente se mostrou também adequado para amostras desta toxina produzida por cianobactérias. Apesar de ser o método mais difundido no momento, a disponibilidade de padrões analíticos para todas as variantes de saxitoxina é limitada. Ora, sem os padrões necessários não se pode fazer a confirmação do pico cromatográfico.

3.1.5.3. Conversão das concentrações de variantes de saxitoxina em equivalentes de saxitoxina

A Portaria MS 518/ 2004 estabelece o valor máximo de 3,0µg/L eq. STX/L para as saxitoxinas e, para análise da sua concentração, recomenda os métodos propostos pela OMS (WHO,1999). De acordo com a OMS, o método de Oshima et al. (1995) é o mais utilizado. Este método de cromatografia líquida de alta eficiência, com derivatização pós-coluna e detecção por fluorescência, permite a determinação de todas as variantes de saxitoxina, caso o padrão cromatográfico correspondente esteja disponível. Os valores de concentração de cada tipo de saxitoxinas (STXs) determinados nas análises cromatográficas devem ser convertidos em equivalente de saxitoxina (STX). Esta conversão é feita comparando-se a toxicidade de cada variante com a toxicidade da saxitoxina. Os valores de toxicidade foram obtidos através de bioensaio com camundongos utilizando-se as toxinas purificadas (Hall et al.,1990).

A tabela 3.1 apresenta os valores de toxicidade relativa para 15 tipos de saxitoxinas.

Tabela 3.1 – Valores de toxicidade relativa de algumas saxitoxinas.

Toxina	Toxicidade Relativa (T) (Hall et al.,1990)	Concentração equivalente a 3 µg/L eq. STX/L (µg/L)
STX	1,0000	3,00
GTX1	0,9940	3,02
NEO	0,9243	3,25
GTX4	0,7261	4,13
GTX3	0,6379	4,70
dcSTX	0,5131	5,85
dcGTX3	0,3766	7,97
GTX2	0,3592	8,35
dcGTX2	0,1538	19,51
C2	0,0963	31,15
GTX6 (B2)	0,0644	46,58
GTX5(B1)	0,0644	46,58
C4	0,0576	52,08
C3	0,0133	225,56
C1	0,0060	500,00

A concentração total expressa em µg/L eq. STX/L é obtida através da seguinte equação:

$$\text{eq. STX} = \sum_{i=1}^n C_i \times T_i \quad \text{Equação 3.1}$$

Onde: C_i = Concentração da toxina em microgramas por litro (µg/L)

T_i = Toxicidade relativa da toxina

3.1.6. Remoção de cianobactérias e cianotoxinas em estações de tratamento de água

Embora as algas de diferentes grupos possam causar problemas variados à qualidade da água do manancial e à operação das estações de tratamento de água, as cianobactérias são aquelas que representam sérios riscos à saúde do ser humano, seja pela possibilidade da existência de cianotoxinas dissolvidas nas

águas do manancial, seja pela sua liberação, através de lise celular, durante a remoção destes microrganismos.

De acordo com Di Bernardo (1995), a presença de cianobactérias em estações de tratamento de água pode causar problemas operacionais em várias etapas de tratamento, tais como dificuldade de coagulação e floculação, baixa eficiência do processo de sedimentação, colmatação dos filtros e aumento da necessidade de produtos para a desinfecção.

A remoção de cianobactérias em estações de tratamento de água tem sido objeto de estudos de muitos pesquisadores e são várias as linhas de abordagem do problema: o uso de filtros rápidos de pequena granulometria sem prévia coagulação (NAGAVI e MALONE, 1986); o emprego de micropeneiras (malha de 10 a 100 μ m) na remoção de cianobactérias de maior dimensão (filamentosas ou coloniais) (MOUCHET e BONNÉLYE, 1998; SILVEIRA e SENS, 2003); flotação por ar dissolvido, seguida de filtração rápida (REALI e GINOTTI, 1993), pré-ozonização visando à remoção de cianobactérias e o aumento das carreiras de filtração (JANSSENS et al., 1988; LAGE FILHO e FERREIRA FILHO, 1997), são alguns exemplos dos inúmeros trabalhos publicados.

São poucos os trabalhos que avaliaram a remoção de cianotoxinas em estações de tratamento de água, principalmente a fração extracelular, ou seja, a toxina que já está na massa líquida. Além disso, a maioria aborda principalmente a remoção de cianotoxinas numa única etapa do processo de tratamento e são poucos aqueles que avaliam as seqüências de tratamento mais comuns, que envolvam a coagulação química e uma ou mais etapas de clarificação (sedimentação, flotação e filtração rápida) (HRUDEY et al. 1999, citados em FUNASA, 2003).

3.1.6.1. Alguns estudos relacionados à remoção de cianobactérias

De acordo com Benhardt e Clasen (1991, citados em FUNASA, 2003), a remoção de cianobactérias por coagulação, floculação e filtração, é governada pelos mesmos princípios da remoção de partículas inorgânicas coloidais e em suspensão, ou seja, as cianobactérias podem ser desestabilizadas e floculadas através dos mesmos mecanismos que atuam sobre as partículas inorgânicas. Estes autores relatam que as cianobactérias de formato aproximadamente esférico, e com superfícies suaves, podem ser desestabilizadas pelo mecanismo de adsorção e neutralização de cargas, enquanto que as não esféricas, como as cianobactérias filamentosas, necessitam de grandes dosagens de coagulante, resultando na predominância do mecanismo de varredura.

Janssens et al. (1988) avaliaram a eficácia da pré-ozonização e da pré-cloração como etapas preliminares de tratamento, numa estação em escala piloto, em relação à remoção de cianobactérias. Os dois pré-tratamentos testados mostraram-se capazes de promover a melhoria da eficiência da filtração, uma vez que permitiram remoções significativas de cianobactérias, reduzindo a carga de sólidos para o filtro. No entanto, a pré-ozonização não só levou à melhoria da qualidade da água produzida, como também a carreiras de filtração com duração mais longa.

Mouchet e Bonnelye (1998) estudaram a remoção de cianobactérias e microalgas através de filtração direta e polimento com ozônio e carvão ativado granular. Os testes, conduzidos numa instalação piloto no sul da França, demonstraram que o tratamento com ozônio resultou numa remoção superior a 99% de microalgas e cianobactérias, melhorando a qualidade de água produzida.

3.1.6.2. Alguns estudos relacionados à remoção de cianotoxinas

Os processos que envolvem coagulação, quando otimizados e associados a processos de separação sólido-líquido, podem remover de forma eficaz as células de cianobactérias. Porém, de acordo com Hart et al.(1998), vários estudos têm mostrado que os processos convencionais de tratamento (coagulação/floculação, sedimentação e filtração) não são efetivos na remoção da fração dissolvida das cianotoxinas.

Himberg et al. (1989), baseados em estudos de experimentos em escala de laboratório, relataram que o tratamento envolvendo a coagulação/floculação, filtração rápida e cloração não foi capaz de promover a remoção significativa de hepatotoxinas oriundas de espécies tóxicas dos gêneros de *Microcystis* e *Oscillatoria*. Os autores destacaram ainda que, em alguns experimentos, a seqüência de tratamento apresentou remoção de toxina igual a zero, ou mesmo negativa, sugerindo que toxinas podem ter sido liberadas durante a coagulação/floculação.

Falconer et al. (1989) e Himberg et al. (1989) investigaram a remoção de toxinas por carvão ativado, em pó e granular. Os resultados obtidos sugeriram que o carvão ativado é capaz de remover as cianotoxinas sozinho ou de forma combinada com o tratamento convencional. Segundo Bruchet et al. (1998), a competição entre outras matérias orgânicas e as cianotoxinas pode refletir na eficiência de adsorção do carvão ativado granular. A presença de altas concentrações de outras substâncias saturaria o carvão ativado, o que permitiria o "transpasse" de concentrações significativas de toxinas.

Lam et al. (1995) observaram que a pré-cloração de água contendo elevada concentração de células viáveis de *Microcystis aeruginosa* provocou a imediata liberação da microcistina intracelular para o meio líquido, a qual só foi totalmente oxidada após aplicação de elevada dosagem de hipoclorito de sódio (44mg/L).

Segundo vários autores (HIMBERG et al., 1989; HART et al., 1998, entre outros), o processo de oxidação mais eficaz na destruição de microcistina, tanto intra quanto extracelular, da nodularina e da anotoxina-a, é a ozonização. Este processo pode levar à rápida e completa destruição das mencionadas toxinas.

3.1.6.3. Alguns estudos relacionados à remoção de cianotoxinas por ozônio

O ozônio tem sido considerado o oxidante mais efetivo para a remoção de nodularina e microcistinas dissolvidas em água, mesmo que utilizado em pequenas quantidades (Rositano, 1996; Rositano et al., 1998, 2001; Shawwa and Smith, 2001; Hoeger et al., 2002). Contudo, a eficácia do ozônio na destruição das cianotoxinas é dependente, em grande parte, das características da água. Cite-se como exemplo, a presença de matéria orgânica natural (MON), que compete com as toxinas pela reação com o ozônio, o que pode prejudicar a remoção da toxina (Hart and Stott, 1993; Carlile, 1994; Rositano, 1996; Mauchet and Bonnelye, 1998; Rositano et al., 1998, 2001; Shawwa and Smith, 2001; Hoeger et al., 2002; Newcombe, 2002).

Hart et al. (1998) apresentaram resultados da aplicação da pré-ozonização em água com elevada concentração de cianobactérias. Ao mesmo tempo que ressaltaram a grande eficácia do ozônio na remoção de toxinas, destacaram a importância do controle da dosagem deste oxidante. Com dosagens baixas, de até $0,6\text{mgO}_3/\text{L}$, o ozônio teve um efeito pequeno sobre a degradação da microcistina intra e extracelular. De acordo com os referidos autores, em baixas dosagens, o ozônio provavelmente degradou outras substâncias orgânicas presentes na água. Somente depois de a demanda exercida pela matéria orgânica ter sido satisfeita, o ozônio mostrou efeito sobre a microcistina-LR. Contudo, no intervalo entre $0,6\text{mgO}_3/\text{L}$ e $1,3\text{mgO}_3/\text{L}$, o efeito foi negativo e consistiu quase que inteiramente na lise das células, fazendo com que a microcistina extracelular na água aumentasse

significativamente. Somente com a adição de 2mgO₃/L a toxina extracelular foi oxidada.

Hitzfed et al. (2000, citados por MATTHIENSEN, 2001) sugeriram uma densidade limite de 10⁵ células/mL de *Cylindrospermopsis raciborskii*. para o uso da dosagem de ozônio de 1,0mgO₃/L. Acima deste valor de densidade, a toxicidade aumenta devido à lise celular e conseqüente liberação de toxinas. Uma concentração residual de 0,05mgO₃/L é recomendado para destruir completamente a toxina liberada.

As dosagens necessárias de ozônio podem também ser influenciadas pelo tipo de toxina presente na água. Hrudey et al. (1999) reportaram que trabalhos australianos mostraram que a dosagem de ozônio necessária para se conseguir a remoção de um grupo de saxitoxinas, com concentração na faixa de 10 a 100µg/L, foi inferior à quantidade de ozônio demandada pela água.

Verificou-se que as doses de ozônio requeridas para anatoxina-a e as saxitoxinas são mais altas do que as necessárias para a microcistina (Carlile, 1994; Rositano et al., 1998, 2001). Rositano et al. (2001) declararam que um tempo de contato de 5 minutos com um valor residual de ozônio superior a 0,2mg/L foram suficientes para a destruição de anotoxina-a a concentrações abaixo dos limites detectáveis. Por outro lado, os mesmos autores observaram que quatro variantes de saxitoxina (GTX3, GTX2, C1 e C2) não foram facilmente destruídas e requereram doses de ozônio consideravelmente mais altas do que as utilizadas para a m-LR, m-LA e anotoxina-a. Este fenômeno foi atribuído a diferenças estruturais entre as toxinas. A microcistina possui um considerável número de duplas ligações facilmente oxidáveis, ao passo que a anotoxina-a e as saxitoxinas contêm poucas destas ligações, o que significa menos locais propícios para a ocorrência da oxidação. Esta resistência das saxitoxinas à ozonização foi também confirmada por House et al. (2004). Por sua vez, Kaeding et al. (1999) observaram que uma dose de

ozônio de 6,0mg/L foi capaz de oxidar a STX, C1, C2 e GTX2 abaixo dos limites detectáveis por CLAE quando a concentração inicial de toxina era menor do que 170µg/L. Em concentrações mais altas, porém, a remoção das toxinas já não foi tão fácil e foi necessária uma dose suplementar de ozônio na ordem dos 20mg/L. Permanece por esclarecer a causa da discrepância entre estes estudos. De qualquer modo, a literatura confirma que os diversos tipos de saxitoxinas reagem de maneira diferente quanto à facilidade com que ocorre a oxidação em resposta ao ozônio, de acordo com a seguinte ordem: saxitoxina (STX) > C-toxinas (C) > goniautoxina (GTX).

Ainda são poucas as publicações que abordam o tema da ozonização das toxinas mais recentemente isoladas, tais como a cilindropermopsina e as endotoxinas. Craig et al. (1998) mostraram que a cilindropermopsina foi destruída de modo eficaz com uma dose de ozônio de 1,5mg/L e um tempo de contato de 5 minutos, no manancial de água de Grahamstown.

A tabela 3.2 apresenta as condições de ozonização para a destruição de saxitoxinas referidas na literatura.

Tabela 3.2: Condições de ozonização empregada para destruição das saxitoxinas.

Saxitoxinas (concentração)	O ₃ Dose (mg/L)	O ₃ Residual (mg/L)	Tempo de Contato (min)	pH	Destruição (%)	Referência
GTX 2						
11 µg/L	6,0	-	5	6,5	100	Kaeding et al. (1999)
GTX 3						
58 µg/L	6,0	-	5	6,5	97	Kaeding et al. (1999)
C1						
34 µg/L	6,0	-	5	6,5	100	Kaeding et al. (1999)
C2						
167 µg/L	6,0	-	5	6,5	100	Kaeding et al. (1999)
STX						
40 µg/L	6,0	-	5	6,5	100	Kaeding et al. (1999)

GTX 2: goniautoxina 2 GTX 3: goniautoxina 3 C1: C-toxina 1 C2: C-toxina 2 STX: saxitoxina

Fonte: Modificado de House et al., 2004.

3.1.6.4. Considerações finais sobre a remoção de cianobactérias e cianotoxinas

A filtração direta de águas sujeitas à floração de cianobactérias pode ser eficiente quanto à remoção de células viáveis (é importante lembrar que a eficiência da filtração direta, em qualquer situação, é altamente dependente da condição ótima de coagulação). Entretanto, a curta duração das carreiras de filtração pode inviabilizar este tipo de tratamento. De acordo com os trabalhos consultados, a adoção da pré-ozonização pode resultar em aumento da duração da carreira de filtração nos filtros rápidos.

Existe uma preocupação com relação à aplicação da ozonização em água bruta (pré-ozonização), ou seja, águas em que a remoção das células viáveis de cianobactérias ainda não foi realizada. Por isso, as investigações experimentais devem analisar a ação do ozônio sobre as cianobactérias e cianotoxinas considerando dois estágios de tratamento, a pré-ozonização e a pós-ozonização (normalmente associada à desinfecção). A pós-ozonização pode apresentar uma elevada eficiência de remoção de toxinas, podendo alcançar a sua completa destruição. A dosagem necessária depende não só da concentração e do tipo de cianotoxina, como também da presença de outros compostos orgânicos e inorgânicos.

3.2. Ozonização

3.2.1. Considerações iniciais sobre o emprego da ozonização no tratamento de água

Em escala mundial, o número de estações de tratamento de água que utilizam a ozonização é cada vez maior, não só para a realização da desinfecção primária, como também para a realização de uma ou mais atividades de oxidação.

De acordo com Collins et al. (1989, citados por DI MATTEO, 1992), a ozonização pode ser empregada para os seguintes fins: desinfecção bactericida e inativação viral; remoção de substâncias orgânicas, tais como materiais húmicos,

pesticidas, detergentes e fenóis; remoção de precursores de trihalometanos; auxiliar de coagulação; remoção de cor, sabor e odor; oxidação de ferro e manganês solúveis; rompimentos de ligações organometálicas, permitindo que metais, como por exemplo, Fe(III) e o Mn (IV) reajam como coagulantes dos compostos orgânicos remanescentes, levando a uma melhor precipitação; destruição de algas; oxidação de cianeto para cianato e eventualmente, para dióxido de carbono e água e outros compostos.

3.2.2. Propriedades químicas do ozônio

O ozônio é uma forma molecular do oxigênio, pouco estável. Possui o segundo potencial de oxidação mais alto, inferior somente ao do flúor. O ozônio é um gás incolor que é parcialmente solúvel na água e facilmente detectável em concentrações muito baixas (0,01 a 0,05mg/L).

O odor característico do ozônio foi relatado pela primeira vez por Van Mauren, em 1785, nas proximidades de uma descarga elétrica. Em 1840 foi verificado que o odor era resultante da presença de um composto não estabilizado, cuja estrutura foi confirmada em 1872 como um triângulo triatômico alotrópico.

A configuração triangular da molécula de ozônio forma um ângulo de ligação de $116^{\circ}49'$ entre os três átomos de oxigênio, de acordo com estudos de microondas, ou 127° , em conformidade com estudos de difração de elétrons. A ressonância das estruturas das moléculas de ozônio são mostradas na figura 3.3.

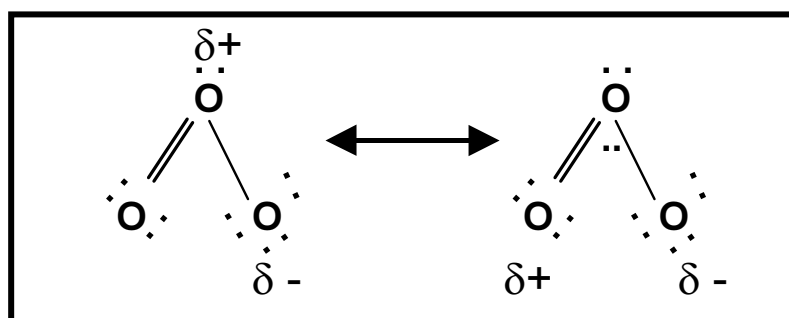


Figura 3.3: Possíveis formas da estrutura molecular do ozônio
Fonte: Langlais, 1991.

3.2.3. Mecanismos de reação do ozônio dissolvido em água:

Quando o ozônio está dissolvido na água, os seguintes mecanismos de reação podem ocorrer:

- Reação direta com compostos dissolvidos;
- Decomposição em oxidantes secundários altamente reativos (OH^\bullet , HO_2^\bullet);
- Formação de oxidantes secundários adicionais, a partir da reação do ozônio com outros solutos.
- Subseqüentes reações destes oxidantes secundários com solutos.

As reações citadas podem ou não ocorrer simultaneamente, dependendo das condições da reação e da composição química das substâncias dissolvidas na água.

A figura 3.4 apresenta de forma esquemática os mecanismos de reação do ozônio com compostos orgânicos na água.

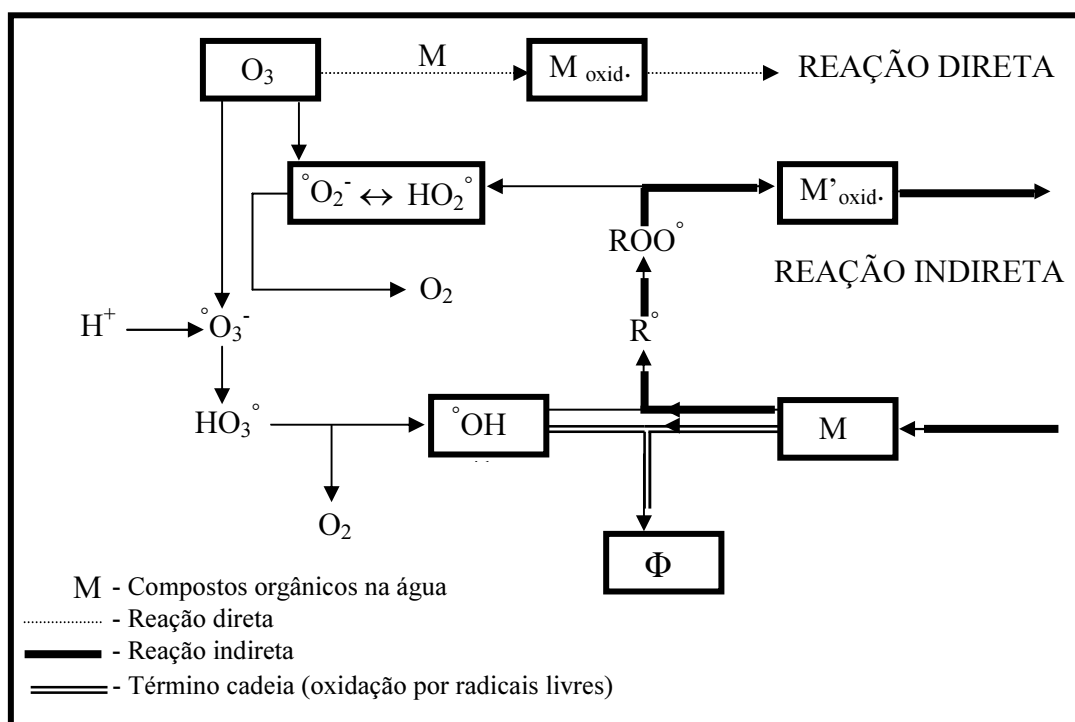


Figura 3.4: Reações entre o ozônio e compostos orgânicos na água.

Fonte: GILL et al., 1989.

Enquanto a reação direta é altamente seletiva e relativamente lenta, a reação indireta através do radical OH° pode reagir fácil e rapidamente com muitos compostos presentes na água.

De acordo com Bollyky e Siler (1989), sob condições de pH ácido ou neutro, o ozônio molecular dissolvido reage com materiais orgânicos. Em condições de pH alcalino, o ozônio decompõe-se e origina inicialmente radicais hidroxilas (OH°), os quais reagem rapidamente com a maioria dos compostos orgânicos. Os radicais hidroxilas são conhecidos por serem mais reativos e menos seletivos em suas reações que o ozônio molecular.

3.2.4. Transferência de ozônio

A transferência do ozônio para a água, segundo Gould e Ulirsch (1989, citados em DI MATTEO, 1992), é usualmente baseada em processos heterogêneos que envolvem transferência de massa do ozônio por meio de bolhas, através da interface gás/líquido para a água. A transferência do ozônio para a água começa com a dispersão do gás na fase líquida, em forma de pequenas bolhas. Posteriormente o ozônio é incorporado à massa líquida através da interface gás-líquido.

Laplanche et al. (1989) e Masschelein (1988) relataram que as câmaras com difusores que dispersam o gás em forma de bolhas são os sistemas de contato mais amplamente usados para a ozonização, especialmente para o tratamento de água. A mistura do gás na água é realizada por difusores porosos ou tubos sinterizados, acoplados no fundo da câmara. Ainda conforme estes autores, a transferência do ozônio depende da turbulência entre as fases gasosa e líquida, do número e tamanho das bolhas e da área de transferência interfacial entre as duas fases dos fluidos.

De acordo com Dalsasso (1999), os difusores devem produzir bolhas com diâmetro da ordem de 3 a 5mm, o que é conseguido com difusores porosos que possuem espaços intergranulares de tamanhos compreendidos entre 50 a 100 μ m. As bolhas maiores são caracterizadas por menor área de contato entre o gás e a água, o que torna a sua eficiência menor. O tempo de contato entre as bolhas e a água também contribui para a eficiência do processo de transferência. Quanto mais lenta for a ascensão das bolhas no meio líquido, maior será o tempo de contato.

O gradiente de velocidade médio na seção de injeção de ozônio na câmara deve ficar compreendido entre 100 a 200s⁻¹. Nas zonas onde há formação de bolhas o gradiente de velocidade deve ser maior, com intervalo de 8000 a 10000s⁻¹. Como as bolhas sobem na água com velocidade de 20 a 30 cm/s, as concentrações do ozônio na fase gasosa, bem como as dos compostos orgânicos, são alteradas ao longo da câmara de contato (DI MATTEO, 1992).

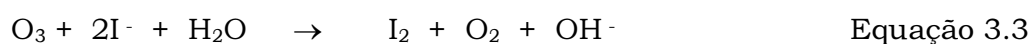
Segundo Nebel (1981, citado por DI MATTEO, 1992) o volume da câmara deve ser suficiente para evitar bolhas excessivamente próximas umas das outras. Quanto menor a relação volume de gás/ volume de líquido, mais dispersa será a distribuição do gás, que em geral, varia entre 5 e 10m³ de gás/100m³ de líquido. É recomendável que a altura das câmaras de contato fique compreendida entre os 3,5 e os 5,5m. Alturas maiores não são economicamente interessantes.

3.2.5. Análises para determinação da concentração de ozônio

O controle do processo de ozonização é baseado em medições da dosagem de ozônio aplicada e no ozônio residual na água. A quantidade a ser aplicada é determinada pela medição da concentração do gás que é transportada para a câmara de contato. A quantidade transferida é geralmente calculada pela diferença entre a concentração do ozônio afluyente (feed-gas) e a concentração efluente (off-gas) da unidade de ozonização, conforme equação 3.2.

$$[\text{O}_3] \text{ transferido (\%)} = \frac{[\text{O}_3]_{\text{feed-gas}} - [\text{O}_3]_{\text{off-gas}}}{[\text{O}_3]_{\text{feed-gas}}} \times 100 \quad \text{Equação 3.2}$$

O método iodométrico é o mais utilizado para a quantificação do ozônio na fase gasosa, e baseia-se na oxidação do íon iodeto pelo ozônio, que causa liberação de iodo. O gás contendo ozônio e oxigênio passa pela solução de iodeto de potássio, onde reage quantitativamente para produzir um mol de oxigênio para cada mol de ozônio, conforme a equação 3.3.



O iodo liberado é então titulado com uma solução padrão de tiosulfato de sódio e, assim, calcula-se a concentração de ozônio.

Quando há necessidade de se manter ozônio dissolvido em meio líquido, as medições do residual de ozônio dissolvido auxiliam no controle e na avaliação do processo de aplicação. O controle do residual de ozônio na água apresenta uma grande importância na ação sobre bactérias, vírus e parasitas de veiculação hídrica. A existência de um adequado residual de ozônio após um determinado tempo de contato auxilia no controle do processo de pós-ozonização.

3.2.6. Emprego da ozonização como pré- ou pós-tratamento

O uso do ozônio como pré-tratamento da água para abastecimento público tem se generalizado nos últimos anos, tanto em estações completas, dotadas de decantadores, como em sistemas de filtração direta. Em função dos benefícios obtidos com a pré-ozonização, vários países empregam o ozônio como oxidante em substituição ao cloro, antes do processo de coagulação (DI MATTEO, 1992).

Segundo Di Matteo (1992) a pré-ozonização pode trazer os seguintes benefícios num sistema de tratamento de água: oxidação de metais e matéria

orgânica; desinfecção preliminar; decréscimo do consumo de coagulantes; redução da turbidez e da cor aparente e verdadeira; remoção de compostos que causam sabor e odor, decréscimo do consumo de compostos derivados do cloro; diminuição das concentrações de precursores de trihalometanos; destruição de algas e aumento da carreira de filtração.

O decréscimo na estabilidade coloidal do sistema tem sido aceito por muitos pesquisadores como razão para o efeito positivo da pré-ozonização. De acordo com Di Matteo (1992), a adição de um oxidante forte como o ozônio, na água bruta, altera a natureza ou quantidade de cargas nas superfícies das partículas, facilitando a coagulação por sais metálicos. De acordo com o pH da água pode ocorrer a formação de precipitados metálicos, que são removidos por sedimentação ou filtração.

O ozônio é reconhecidamente um poderoso agente oxidante e desinfetante, utilizado há muito tempo como pós-tratamento em estações de tratamento de água.

Segundo Glaze (1987), as duas maiores limitações para o emprego do ozônio na desinfecção final são: 1º) a sua instabilidade na água, com uma vida média curta para assegurar uma capacidade residual desinfetante nos sistemas de distribuição; 2º) a formação de subprodutos oxigenados de baixo peso molecular, através da reação com substâncias orgânicas, que são geralmente mais biodegradáveis, promovendo crescimento biológico no sistema de distribuição. Por estes motivos, o ozônio deve ser utilizado em combinação com outros desinfetantes para manter um residual ativo por períodos mais longos e, ainda, ser combinado com algum método de biofiltração para remover material biodegradável.

3.3. Filtração Direta Descendente

De acordo com Di Bernardo et al. (2003), a filtração direta de escoamento descendente é definida como uma tecnologia de tratamento de água que prescinde da separação prévia de sólidos, ou seja, de etapas como a decantação ou flotação.

A aplicação dessa tecnologia depende fundamentalmente da qualidade de água a ser tratada. Diversos autores sugeriram alguns parâmetros de qualidade da água bruta que permitiriam o emprego da tecnologia de filtração direta descendente.

A tabela 3.3 apresenta os parâmetros sugeridos por Kawamura (2000, citado por PÁDUA, 2001) e Di Bernardo et al. (2003) para o emprego da filtração direta descendente.

Tabela 3.3: Sugestão de alguns valores de parâmetros de qualidade da água para o emprego da filtração direta descendente.

PARÂMETRO	AUTORES	
	KAWAMURA (2000)	DI BERNARDO (2003)
Turbidez (uT)	< 20	90% ≤ 10 95% ≤ 25 100% ≤ 100
Cor aparente (uH)	< 20	90% ≤ 20 95% ≤ 25 100% ≤ 50
Sólidos Suspensos (mg/L)	---	95% ≤ 25 100% ≤ 100
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	< 200	---
Dureza (mgCaCO ₃ /L)	< 150	---
Ferro (mg/L)	< 0,5	---
Manganês (mg/L)	< 0,1	---
COT (mg/L)	< 2,5	---
Sabor e odor (NLO)	< 4,5	---
Alga (UPA/mL)	< 10 ³	500
E. coli (NMP/100mL)	---	500 ⁽¹⁾
Coliformes totais (n°/mL)	< 10 ³	1000 ⁽¹⁾
Taxas de filtração (m ³ /m ² /d)	---	200 a 600

COT: carbono orgânico total **NLO:** número limiar de odor **UPA:** unidade padrão de área

(1): Limites mais elevados podem ser adotados com emprego de pré-desinfecção.

Quando se comparam trabalhos publicados por diferentes autores, observa-se que não há consenso em relação aos valores dos parâmetros que limitam a possibilidade de emprego da filtração direta. Segundo Wiesner et al. (1987, citados por PÁDUA, 2001), essa tecnologia é particularmente indicada nos casos em que a concentração de partículas na água bruta é inferior a 10 ou 20 mg/L.

Cleasby (1990) fez menção a um relatório da *American Water Works Association* em que é citado que a água ideal para ser tratada por filtração direta deve apresentar cor < 40 uC, turbidez < 5 uT, concentração de algas < 2000 UPA/mL, concentração de ferro < 0,3 mg/L e concentração de manganês < 0,05 mg/L. O referido autor contestou o valor de turbidez recomendado pelo relatório, considerando-o muito baixo, e sugeriu, com base nos seus próprios estudos, o valor de 12 uT, quando for utilizado somente sulfato de alumínio como coagulante, ou de 16uT, quando for empregado apenas polímero catiônico. Para o período de maior concentração de fitoplâncton é sugerido o limite de 7 uT, no caso de ser usado somente sulfato de alumínio, e de 11uT quando for empregado polímero catiônico. Edzwald et al. (1987) apontaram a concentração de COT na água bruta como um fator limitante ao emprego da filtração direta, recomendando COT menor ou igual a 5mg/L. De acordo com os mesmos autores, em geral a filtração direta tem sido recomendada para águas com baixo valor de turbidez (20 a 30 uT), baixa cor (inferior a 40 uC) e baixa concentração de algas. Amirtharajah (1998) mencionou que a filtração direta é, em geral, o sistema mais econômico de tratamento de águas com baixa turbidez (< 50 uT). Estas águas estão presentes sobretudo em lagos e necessitam baixas dosagens de coagulante (< 15 mg/L) para o seu tratamento.

Segundo Di Bernardo (1993), muitos autores têm limitado a turbidez e o teor de sólidos suspensos na água bruta a ser tratada por filtração direta em 25 uT e 50 mg/L, respectivamente, salientando que picos de turbidez possam ocorrer até 100 uT, desde que seja por tempo inferior a 12 horas.

No Brasil e na Jordânia, Wagner e Hudson Jr. (1982) lograram o tratamento de água bruta com turbidez superior a 40 uT em ETA(s) utilizando a tecnologia da filtração direta. Treweek (1979) fez referências a ETA(s) de filtração direta capazes de produzir água filtrada com turbidez inferior a 1 uT, mesmo quando a água bruta apresentava valores de turbidez igual a 60 uT.

A filtração direta descendente pode ser basicamente realizada de duas formas:

- Filtração direta descendente sem pré-floculação: sistema composto por unidade de mistura rápida e encaminhamento da água coagulada diretamente ao filtro;
- Filtração direta descendente com pré-floculação: sistema composto por unidades de mistura rápida, de floculação e filtro;

De acordo com Di Bernardo et al. (2003), comparada ao tratamento de ciclo completo (coagulação, floculação, decantação ou flotação e filtração), a filtração direta descendente apresenta as seguintes vantagens:

- Custo de construção de 30% a 50% menor;
- Redução dos custos de operação e manutenção, uma vez que se tem menor consumo de coagulante e de energia elétrica. São eliminados os equipamentos de remoção de lodo dos decantadores e, também, algumas vezes, os equipamentos de floculação;
- Menor produção de lodo;
- Facilidade no tratamento de água bruta com baixa turbidez;

Dentre as desvantagens, destacam-se:

- Necessidade de controle mais rigoroso da dosagem de produtos químicos aplicados,
principalmente quando não se tem a pré-floculação;
- Dificuldades no tratamento de água bruta com turbidez ou cor verdadeira altas;

- A mudança na qualidade da água bruta afeta rapidamente a carreira de filtração;
- Tempo de detenção total da água no sistema é relativamente curto para oxidação de substâncias orgânicas presentes na água que chega ao sistema;
- Tempo de detenção em todo o tratamento é bastante curto, necessitando de ação rápida nas mudanças de dosagens de produtos químicos durante a mudança da qualidade da água bruta;
- Período inicial de melhora da qualidade da água produzida mais longo.

Segundo Dalsasso (2005), para o desempenho global da filtração direta descendente é de extrema relevância a realização de estudos para definir as condições de coagulação (tipo e dosagem dos produtos químicos), as condições de mistura rápida (tempo e gradiente de velocidade) e a eventual necessidade de unidades de pré-tratamento.

Ainda de acordo com a mesma fonte (DALSASSO, 2005), as partículas removidas da água através da filtração direta descendente ficam retidas no meio filtrante e, por este motivo, é importante que as impurezas sejam distribuídas em profundidade, a fim de obter uma carreira de filtração com duração razoável. Dalsasso (2005) também recomenda a realização de estudos em instalação piloto para se conseguir uma maior precisão na especificação do material filtrante, tanto na granulometria e espessura da camada como no número de camadas filtrantes. Além disso, destaca que a taxa de filtração e o método de lavagem e operação dos filtros influenciam significativamente o desempenho da filtração direta descendente.

Considerando-se as informações levantadas na revisão bibliográfica, desenvolveu-se uma metodologia de investigação que permitisse avaliar a ozonização como uma alternativa para ampliar o espectro da filtração direta descendente, especialmente no tratamento de águas com elevada densidade de cianobactérias.

4. METODOLOGIA

4.1. Considerações iniciais

As investigações experimentais foram conduzidas no Laboratório de Águas da Lagoa do Peri – LALP, localizado junto à Estação de Tratamento de Água da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento – CASAN, no sul da Ilha de Santa Catarina.

No LALP foi construído um sistema piloto de filtração direta onde têm sido realizadas pesquisas envolvendo processos e operações unitárias que permitem o emprego dessa tecnologia no tratamento de água com elevada densidade de cianobactérias.

Os experimentos que avaliaram a ozonização como pré ou pós-tratamento à filtração direta descendente foram realizados nesse sistema piloto e agrupados em três fases. A razão deste agrupamento deve-se a eventuais limitações analíticas e a modificações estruturais no piloto de filtração direta que alteraram as condições empregadas nos ensaios.

A fase experimental 1 foi realizada no período de Janeiro a Maio de 2003, a fase 2 de Março a Maio de 2005 e a fase 3 de Outubro de 2005 a Abril de 2006.

A possibilidade ou não da realização de análises quantitativas de cianobactérias e saxitoxinas, como também as modificações na granulometria do leito filtrante são alguns exemplos de alterações nas condições dos ensaios da fase 1 que os diferenciaram dos ensaios das demais fases experimentais.

A figura 4.1 ilustra a localização da Estação de Tratamento de Água da Lagoa do Peri e o sistema piloto de filtração direta construído no LALP.



Figura 4.1 – Quadro de fotos esquematizando a localização da ETA da Lagoa do Peri e do laboratório L.A.L.P. com o sistema piloto de filtração direta.

Na fase experimental 1, o meio filtrante era formado por uma camada única de antracito (diâmetro efetivo dos grãos de 2,5mm) e o coagulante empregado foi o hidroxiclreto de alumínio. A escolha do meio filtrante e do coagulante utilizados deveu-se ao fato de que, no mesmo período de tempo, uma outra pesquisa conduzida avaliava o efeito da variação de granulometria e do coagulante sobre as carreiras de filtração.

A fase 1 investigou somente a pré-ozonização em relação à duração das carreiras de filtração e à qualidade da água produzida. As análises de quantificação de cianobactérias e saxitoxinas ainda não estavam disponíveis para avaliação da qualidade da água.

Nas fases experimentais 2 e 3, o meio filtrante era formado por camada dupla de antracito e areia com as mesmas características dos filtros da Estação de Tratamento de Água da Lagoa do Peri. O coagulante empregado foi o sulfato de alumínio, também utilizado na estação de tratamento.

A ozonização foi investigada nas fases 2 e 3 como pré ou pós-tratamento à filtração direta descendente. As análises de qualidade da água nestas fases avaliaram a concentração de cianobactérias e saxitoxinas. Uma vez que vários autores já tinham confirmado a dominância da espécie *Cylindrospermopsis raciborskii* nas águas da Lagoa do Peri, decidiu-se proceder às análises de saxitoxinas, também conhecidas por toxinas paralisantes.

O quadro 4.1 apresenta a metodologia e as respectivas condições empregadas nos ensaios de cada fase experimental.

Quadro 4.1 – Resumo da metodologia e das condições empregadas na pesquisa.

FASE EXPERIMENTAL 1	FASE EXPERIMENTAL 2	FASE EXPERIMENTAL 3
<p>Ensaio de coagulação em jarreste: Determinação da dosagem ótima de coagulante e o pH de coagulação. Coagulante utilizado: Hidroxicloreto de alumínio.</p> <p style="text-align: center;">⇓</p> <p>Ensaio no sistema piloto: <u>Condições de mistura rápida:</u> Gmr = 200s⁻¹; Tmr = 30s</p> <p><u>Composição do meio filtrante:</u> camada única de antracito <u>Característica da camada de antracito:</u> espessura = 143cm, diâmetro efetivo = 2,5mm, coeficiente de desuniformidade = 1,1 <u>Taxa de filtração:</u> 200m³.m⁻².d⁻¹</p> <p><u>Seqüências de tratamento avaliadas:</u> ⇒ pré-ozonização / filtração direta descendente. ⇒ filtração direta descendente.</p> <p><u>Ozonização:</u> dosagem de 1,0mgO₃/L – tempo de contato de 2,3min.</p> <p><u>Parâmetros avaliados:</u> duração da carreira, turbidez, cor aparente e pH.</p>	<p>Ensaio de coagulação em jarreste: Determinação da dosagem ótima de coagulante e o pH de coagulação. Coagulante utilizado: Sulfato de alumínio.</p> <p style="text-align: center;">⇓</p> <p>Ensaio no sistema piloto: <u>Condições de mistura rápida:</u> Gmr = 200s⁻¹; Tmr = 30s</p> <p><u>Composição do meio filtrante:</u> camada dupla de antracito e areia. <u>Característica da camada de antracito:</u> espessura = 100cm, diâmetro efetivo = 1,1mm, coeficiente de desuniformidade = 1,1 <u>Característica da camada de areia:</u> espessura = 43cm, diâmetro efetivo = 0,50mm, coeficiente de desuniformidade < 2 <u>Taxa de filtração:</u> 200m³.m⁻².d⁻¹</p> <p><u>Seqüências de tratamento avaliadas:</u> ⇒ pré-ozonização / filtração direta descendente. ⇒ filtração direta descendente. ⇒ filtração direta descendente / pós-ozonização.</p> <p><u>Ozonização:</u> ⇒ pré-ozonização - dosagem de 2,0mgO₃/L – tempo de contato de 2,2min. ⇒ pós-ozonização - dosagem de 1,0mgO₃/L – tempo de contato de 2,2min.</p> <p><u>Parâmetros avaliados:</u> duração da carreira, turbidez, cor aparente e verdadeira, pH, STD, condutividade, COT, clorofila-<i>a</i>, cianobactérias e saxitoxinas (STX, NEO).</p>	<p>Ensaio para verificação da dosagem de ozônio a ser utilizada no pré-tratamento: Avaliação da melhor dosagem de ozônio em relação à remoção de cianobactérias – tempo de contato de 5,0min.</p> <p style="text-align: center;">⇓</p> <p>Ensaio de coagulação em jarreste: Determinação da dosagem ótima de coagulante e o pH de coagulação. Coagulante utilizado: Sulfato de alumínio.</p> <p style="text-align: center;">⇓</p> <p>Ensaio no sistema piloto: <u>Condições de mistura rápida:</u> Gmr = 200s⁻¹; Tmr = 30s.</p> <p><u>Composição do meio filtrante:</u> camada dupla de antracito e areia. <u>Característica da camada de antracito:</u> espessura = 100cm, diâmetro efetivo = 1,1mm, coeficiente de desuniformidade = 1,1 <u>Característica da camada de areia:</u> espessura = 43cm, diâmetro efetivo = 0,50mm, coeficiente de desuniformidade < 2 <u>Taxa de filtração:</u> 200m³.m⁻².d⁻¹</p> <p><u>Seqüências de tratamento avaliadas:</u> ⇒ pré-ozonização / filtração direta descendente. ⇒ filtração direta descendente. ⇒ filtração direta descendente / pós-ozonização.</p> <p><u>Ozonização:</u> ⇒ pré-ozonização – dosagem baseada no ensaio de ozonização – tempo de contato de 5,0min. ⇒ pós-ozonização - dosagem de 6,0mgO₃/L – tempo de contato de 5,5min.</p> <p><u>Parâmetros avaliados:</u> duração da carreira, turbidez, cor aparente e verdadeira, pH, STD, condutividade, COT, clorofila-<i>a</i>, cianobactérias e saxitoxinas (STX, NEO, dcSTX, GTX1,2,3,4 e 5, dcGTX2 e3).</p>

4.2. Produtos químicos utilizados na pesquisa

Nos ensaios de coagulação em jarreste e no sistema piloto foram utilizados os seguintes produtos químicos:

Coagulantes

- Hidroxiclreto de Alumínio (HCA): O HCA foi fornecido pela empresa química PANAMERICANA. O lote de HCA apresentava concentrações de Al_2O_3 da ordem de 10,5% e basicidade de 67,47%. O HCA foi diluído em soluções com concentração de 1%. Este coagulante foi utilizado apenas na fase 1.
- Sulfato de Alumínio comercial (SA): O SA utilizado na pesquisa foi o mesmo que estava em uso na ETA da Lagoa do Peri. O lote de SA apresentava concentrações de Al_2O_3 da ordem de 14,5%. As soluções foram preparadas em concentração de 1% (massa/massa) com água filtrada da ETA.

Alcalinizante

Cal hidratada comercial: A cal utilizada na pesquisa foi a mesma que estava em uso na ETA da Lagoa do Peri. As soluções foram preparadas em concentração de 0,5% (massa/massa) com água filtrada da ETA.

Acidificante

Ácido sulfúrico (padrão analítico): As soluções foram preparadas em concentrações de 0,05N (Normal).

Os demais produtos utilizados nas análises de controle de qualidade da água bruta e tratada eram de padrão analítico.

4.3. Ensaios de coagulação em jarteste

A metodologia utilizada nos ensaios de coagulação em jarteste foi a mesma para as três fases experimentais. O objetivo destes ensaios foi determinar as dosagens iniciais de coagulante e o pH de coagulação a serem empregados posteriormente nos ensaios em contínuo no piloto de filtração direta descendente. Nos ensaios de coagulação utilizou-se um equipamento de jarteste acoplado a filtros de laboratório de areia (FLA), ilustrado na figura 4.2.



Figura 4.2 - Aparelho de jarteste com FLA.

Características do equipamento de jarteste:

Modelo: LDB 310;

Fabricante: NovaÉtica;

Nº de jarros: 6 com capacidade individual de 2 L;

Sistema de extração de amostras: basculamento simultâneo;

Gradientes de velocidade: variável de 10 a 2000s⁻¹ (20 a 800 rpm);

Crontrôle de rotação: tacômetro digital;

Paletas: retangulares com sistema de haste livre que permite isolar um jarro sem parar os demais.

Características dos FLA(s):

Granulometria da areia: 0,42 a 0,84mm e tamanho efetivo = 0,5mm;

Altura da camada de areia: 15cm;

Carga hidráulica para filtração: constante e igual a 11cm.

A escolha da composição granulométrica foi baseada nos estudos desenvolvidos por Dalsasso (2005). Nestes estudos foram avaliados três tipos de areia para os FLA(s): areia tipo 1 (grãos entre 0,30 e 0,59mm e tamanho efetivo = 0,43mm), areia tipo 2 (similar à adotada nesta pesquisa) e areia tipo 3 (grãos entre 0,59 e 1,41mm e tamanho efetivo = 0,70mm). Dalsasso (2005) determinou que, em termos de valores de turbidez para água filtrada, e considerando a dosagem de coagulante aplicada, os valores nos FLA(s) com areia tipo 2 foram os que mais se aproximaram dos da água produzida pela ETA da Lagoa do Peri.

Condições empregadas nos ensaios de coagulação:

Gradiente de velocidade de mistura rápida: $G_{mr} = 1200s^{-1}$;

Tempo de mistura rápida: $T_{mr} = 30s$;

Gradiente de velocidade após a mistura rápida: $G = 150s^{-1}$;

(para evitar a sedimentação de flocos nos jarros durante o período de filtração)

Taxa de filtração no FLA: $\cong 100m/d$.

Os ensaios de coagulação foram realizados variando-se em cada jarro a dosagem de coagulante e o pH de coagulação com adição de alcalinizante ou acidificante.

Após os 30 minutos de mistura rápida, reduzia-se o gradiente de velocidade para $150s^{-1}$ e coletava-se aproximadamente 30mL de água, de cada jarro, para avaliação do respectivo pH de coagulação.

Através do dispositivo para coleta de amostras, drenava-se diretamente a água de cada jarro para o seu FLA correspondente. A água filtrada nos primeiros 20 minutos era desprezada, coletando-se em seguida cerca de 50 mL para análise.

Avaliou-se a qualidade da água filtrada em relação à remoção da turbidez e cor aparente. Com os valores obtidos montou-se, tanto para a água bruta quanto para a ozonizada, um diagrama de coagulação para a escolha do melhor resultado segundo o binômio: dosagem de coagulante versus pH de coagulação.

A água ozonizada foi preparada no sistema piloto de pré-ozonização conforme o procedimento descrito nos subcapítulos 4.4.2.1 e 4.4.2.2. Coletava-se o volume de água ozonizada necessário para a realização dos ensaios de coagulação em jarreste.

O quadro 4.2 apresenta os parâmetros e métodos analíticos utilizados nos ensaios de coagulação para a avaliação da dosagem ótima de coagulante e o pH de coagulação.

Quadro 4.2 – Parâmetros de controle e métodos analíticos utilizados nos ensaios de coagulação.

Parâmetro	Método analítico/Equipamento associado
Alcalinidade total	Volumétrico / Titulador digital
Cor aparente	(APHA) Platinum - Cobalt - S.M/*Espectrofotômetro, $\lambda = 455\text{nm}$
pH	pHmetro HACH Senslon
Temperatura	Termômetro de mercúrio
Turbidez	Turbidímetro portátil HACH DR 2100P

HACH DR 2010

4.4. Ensaio no sistema piloto

Os estudos no sistema piloto avaliaram o desempenho da ozonização em composição com a filtração rápida de escoamento descendente (filtração direta) como pré ou pós-tratamento.

As investigações experimentais foram divididas em três fases. Esta divisão permitiu que as condições de ozonização, empregadas tanto na pré- como na pós-ozonização, fossem reavaliadas e eventualmente modificadas.

4.4.1. Dosagens de ozônio e tempo de contato empregados na pré-ozonização e na pós-ozonização

Na fase experimental 1, que avaliou somente a pré-ozonização, a dosagem de ozônio empregada foi de $1,0\text{mgO}_3/\text{L}$ e o tempo de contato de 2,3 minutos. A escolha desta dosagem foi baseada nos resultados obtidos por Histzfed et al. (2000, citados em MATTHIENSEN, 2001). De acordo com estes autores, a dose de $1,0\text{mgO}_3/\text{L}$ não aumenta a toxicidade por lise celular.

Na fase experimental 2, a pré-ozonização foi realizada com a dosagem de $2,0\text{mgO}_3/\text{L}$ e o tempo de contato de 2,2 minutos, e a pós-ozonização com $1,0\text{mgO}_3/\text{L}$ e 2,2 minutos. A dosagem empregada na pré-ozonização foi baseada nos resultados obtidos por Mondardo e Sens (2004) na remoção de cianobactérias. A pós-ozonização foi realizada com $1,0\text{mgO}_3/\text{L}$ por acreditar-se que, numa água já filtrada, menores doses de ozônio seriam suficientes para a completa remoção das cianobactérias e saxitoxinas.

Na fase experimental 3, a pré-ozonização foi realizada com a dosagem de $4,5\text{mgO}_3/\text{L}$ e um tempo de contato de 5,0 minutos, e a pós-ozonização com $6,0\text{mgO}_3/\text{L}$ e 5,5 minutos. A dosagem empregada na pré-ozonização foi baseada em ensaios que avaliaram o efeito de diferentes concentrações de ozônio na remoção de cianobactérias. Os resultados desta avaliação são apresentados no subcapítulo 5.3.1. A dose utilizada na pós-ozonização foi a mesma dos estudos de Kaeding et al. e Newcombe et al. (1999, 2002, citados em HOUSE et al., 2004). De acordo com estes autores, a dosagem de $6,0\text{mgO}_3/\text{L}$ e um tempo de 5 minutos foram suficientes para remover completamente as saxitoxinas dissolvidas em água.

4.4.2. Descrição e funcionamento do sistema piloto

A descrição do sistema piloto aparece detalhada nas figuras 4.3, 4.4 e 4.5. Nelas se representa o esquema do sistema piloto utilizado nas fases experimentais 1, 2 e 3.

Recorde-se que a seqüência composta por filtração rápida descendente (filtração direta) seguida de pós-ozonização não foi investigada na fase 1.

As diferenças mais significativas no sistema piloto foram a unidade de transferência de ozônio e a composição da camada filtrante.

4.4.2.1. Chegada da água bruta ao sistema piloto de tratamento

A água da Lagoa do Peri era direcionada por gravidade para o sistema piloto de tratamento através de um colar de tomada da água, instalado a montante da base da câmara de chegada de água bruta da ETA, antes da aplicação de qualquer produto químico.

Registros permitiam a alternância da alimentação do sistema piloto. Quando a seqüência de tratamento investigada envolvia a pré-ozonização, a água era inicialmente direcionada para uma câmara de carga de nível constante. Caso contrário, ela seguia para o reservatório de água bruta.

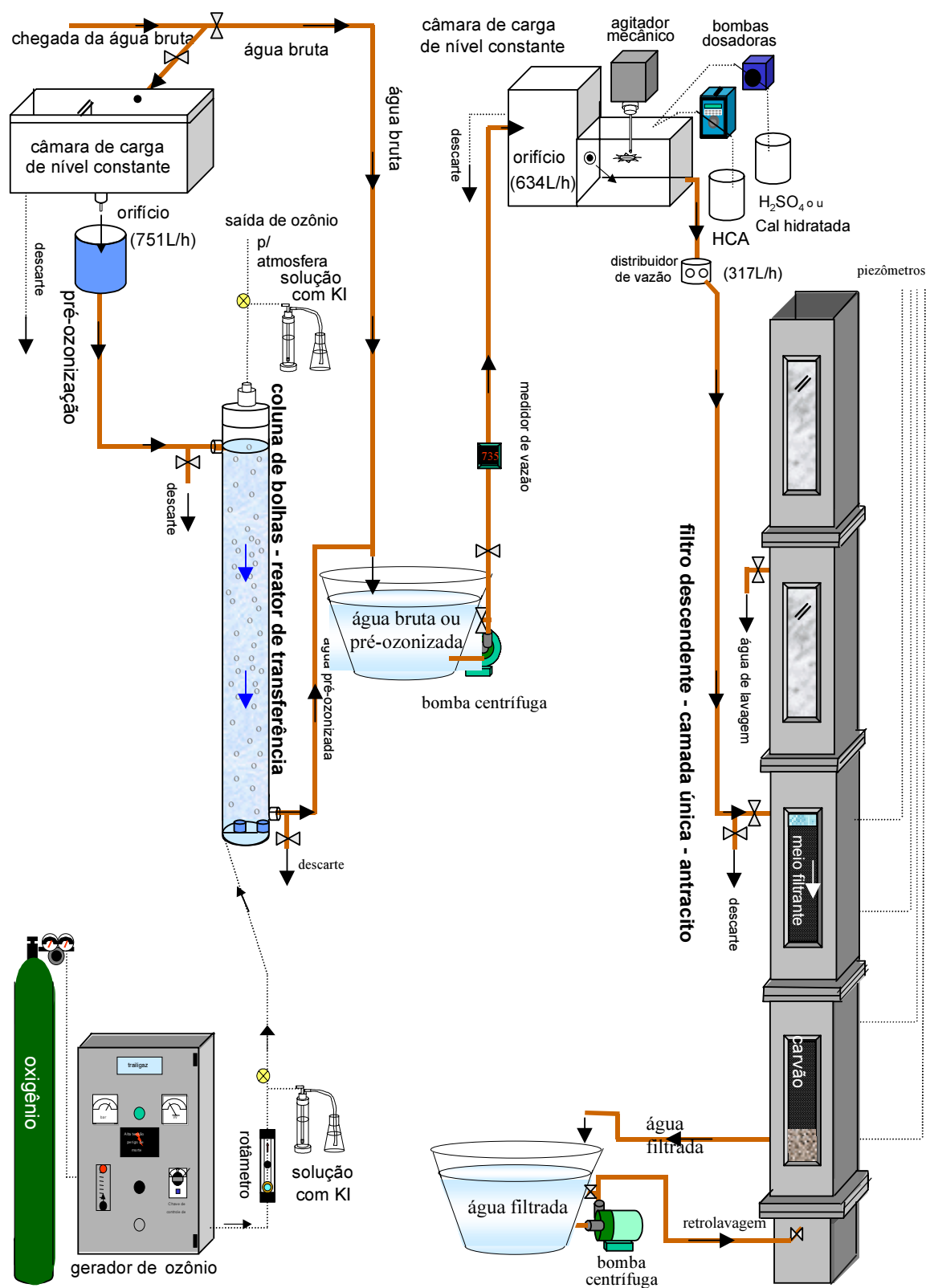


Figura 4.3 - Esquema do piloto utilizado na fase experimental 1

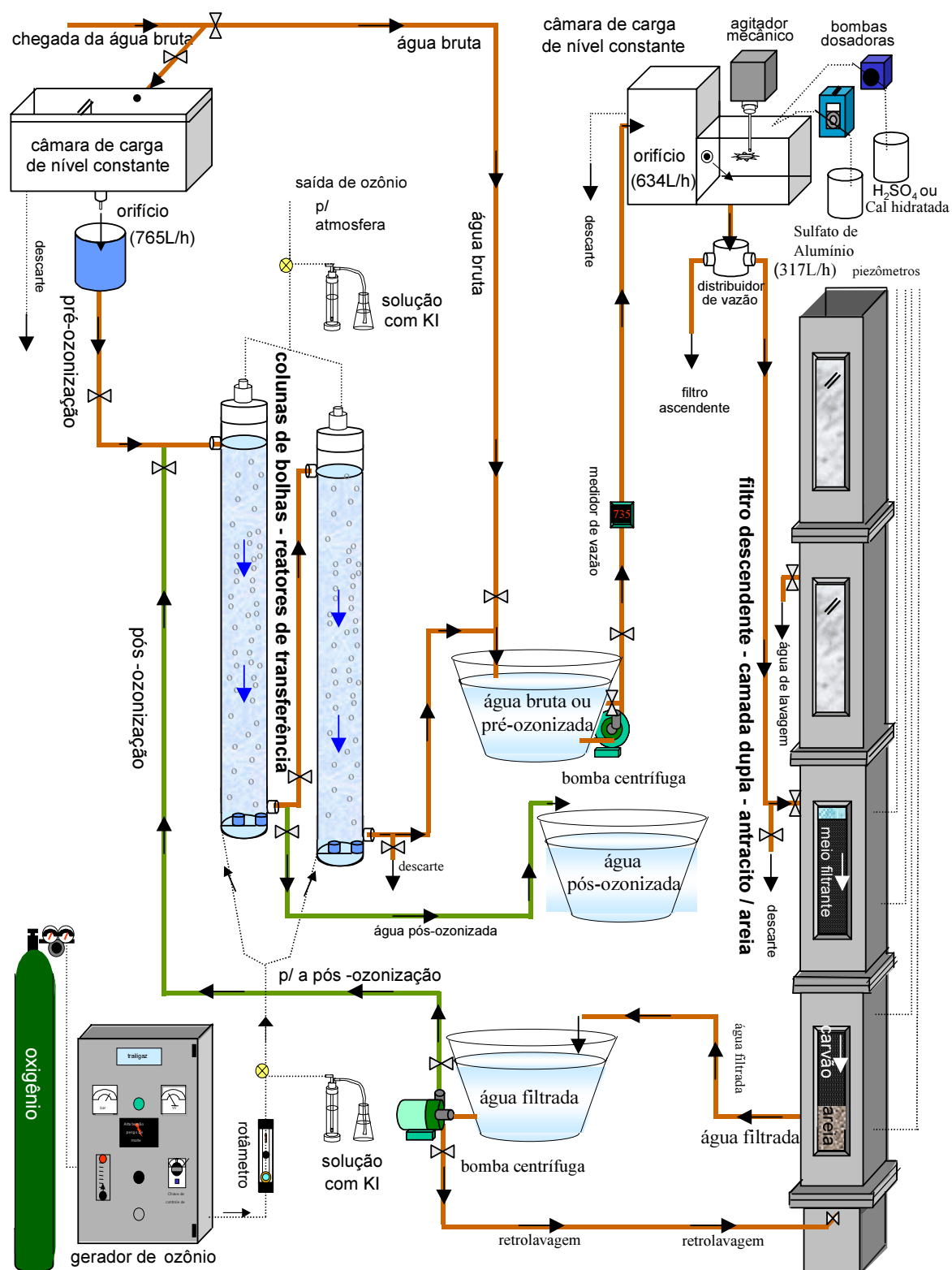


Figura 4.4 - Esquema do piloto utilizado na fase experimental 2

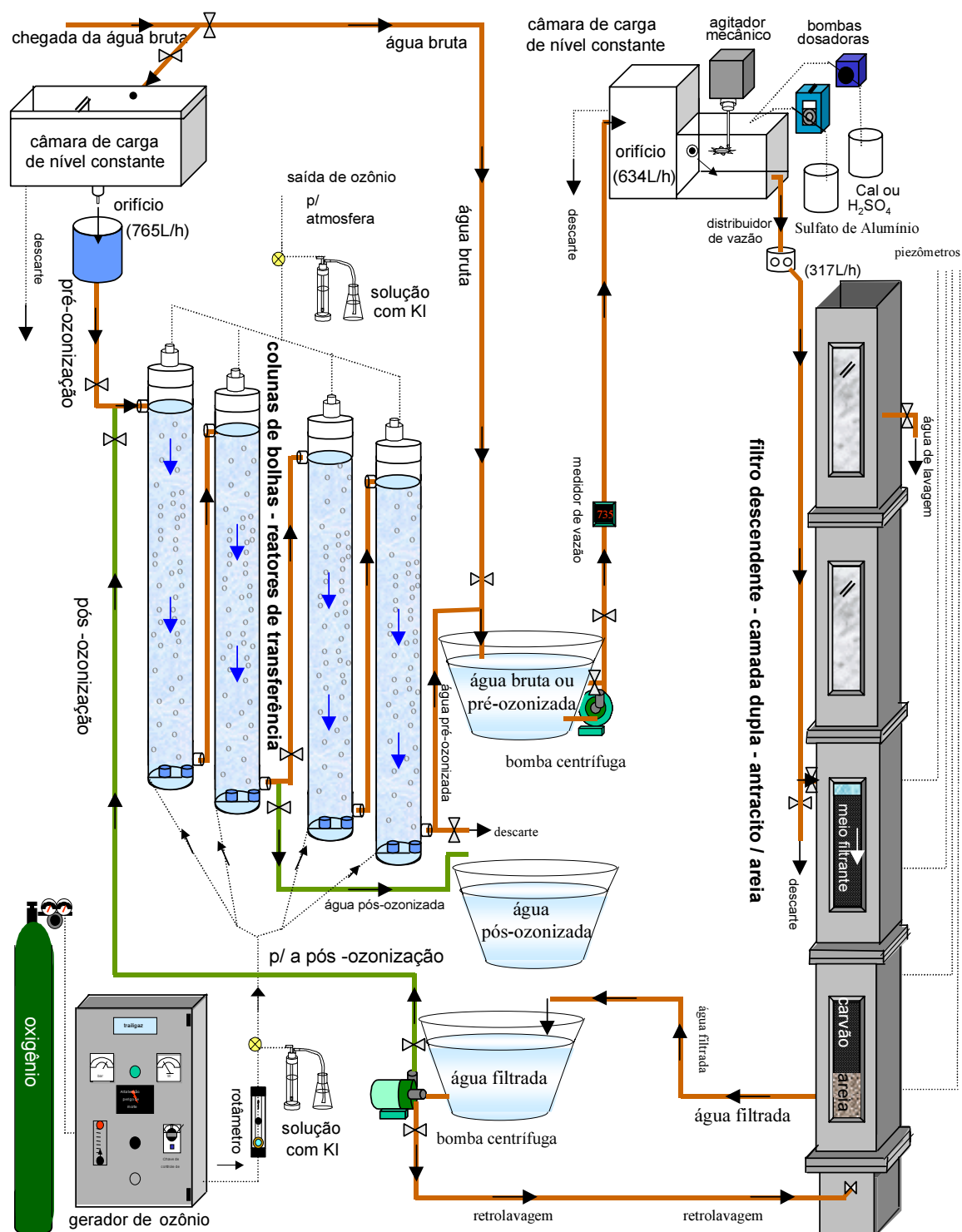


Figura 4.5 - Esquema do piloto utilizado na fase experimental 3

4.4.2.2. Pré-ozonização

A câmara de carga de nível constante era dotada de um orifício calibrado que permitia uma vazão de água bruta de 751L/h (na fase1) e 765 L/h (nas fases 2 e 3) para o sistema de pré-ozonização. Tais elevados valores de vazão devem-se ao fato de que dois filtros foram alimentados paralelamente, um de escoamento descendente e outro de escoamento ascendente. Este último não faz parte desta pesquisa.

O sistema de pré-ozonização era constituído de:

Gerador de ozônio (ozonizador);

Colunas de transferência de ozônio com difusores porosos;

Rotâmetros para gás;

Cilindro de gás oxigênio.

O gerador de ozônio é de fabricação da Trailigaz, modelo LABO-6LO, com capacidade média de produção de 22gO₃/h em concentração de 40gO₃/m³ a partir de oxigênio. O gás contendo ozônio era direcionado para um rotâmetro que registrava a vazão enviada para as colunas de transferência ou para o dispositivo de determinação da concentração de ozônio.

A vazão do gás foi estabelecida em 60L/h a fim de resultar numa razão vazão de gás (Qg)/vazão da água (Qa) inferior a 0,1. Esta razão, se respeitada, favorece uma boa dispersão do gás na massa líquida.

A transferência do ozônio para a água foi realizada em reatores do tipo colunas de bolhas, através de difusores porosos situados na base das colunas, no lado oposto à entrada da água, formando um sistema de contato gás-líquido do tipo contra-corrente. As colunas são de acrílico, com 2,10m de altura e seção circular de 115mm de diâmetro interno. O nível de água nas colunas era mantido de forma a proporcionar o tempo de contato desejado.

As concentrações de ozônio na fase gasosa foram determinadas pelo método iodométrico (APHA, 1985). A eficiência da transferência era calculada pela diferença entre a concentração de ozônio afluyente (feed-gás) e a concentração efluente (off-gás) das colunas de transferência, conforme a equação 4.1.

$$E(\%) = \frac{[O_3]_{\text{feed-gas}} - [O_3]_{\text{off-gas}}}{[O_3]_{\text{feed-gas}}} \times 100 \quad \text{Equação 4.1}$$

Onde:

$E(\%)$ = eficiência de transferência de ozônio para a água
 $[O_3]_{\text{feed-gas}}$ = concentração de ozônio afluyente às colunas
 $[O_3]_{\text{off-gas}}$ = concentração de ozônio efluente das colunas

A concentração de ozônio transferida para água era então calculada pela equação 4.2.

$$[O_3]_t = \frac{Q_g \times T \times [O_3]_{\text{feed-gas}} \times E}{V_a \times 100} \quad \text{Equação 4.2}$$

Onde:

$[O_3]_t$ = concentração de ozônio transferida para a água
 Q_g = vazão do gás afluyente às colunas
 T = tempo de contato nas colunas
 $[O_3]_{\text{feed-gas}}$ = concentração de ozônio afluyente às colunas
 E = eficiência de transferência de ozônio para a água
 V_a = volume de água nas colunas

A concentração de ozônio dissolvido (residual) em água foi determinada pelo método colorimétrico do índigo. As análises utilizaram metodologia desenvolvida pela HACH COMPANY para o espectrofotômetro modelo 2010.

4.4.2.3. Reservatório de água bruta ou pré-ozonizada e câmara de nível constante

O reservatório é fabricado em PVC, com capacidade útil de 200 litros, e é concebido para receber a água bruta ou pré-ozonizada, de acordo com a seqüência de tratamento em questão. A água do reservatório é recalçada através de uma bomba afogada para uma câmara de nível constante e um medidor eletrônico registra a vazão. A câmara de nível constante é construída em chapa de aço inoxidável. A função desta câmara é manter um nível de água constante e fornecer, através de um orifício previamente calibrado, a vazão adequada para a câmara de mistura rápida. O excesso de água bombeada para a câmara de nível constante retorna automaticamente para o reservatório.

4.4.2.4. Câmara de mistura rápida (coagulação química)

O volume de água na câmara de mistura rápida era mantido através de um tubo roscável conectado a uma curva voltada para cima. A mistura rápida era realizada por um agitador mecânico dotado de paletas recambiáveis e controle de rotação. Estes dispositivos permitiam ajustar o gradiente de velocidade em 1200s^{-1} e tempo de mistura rápida em 30 s. Os valores para o gradiente e o tempo de detenção na mistura rápida foram determinados segundo os ensaios de coagulação em jarreste realizados por Dalsasso (2005).

O coagulante e as soluções para o ajuste de pH eram aplicados na câmara de mistura rápida através de bombas dosadoras. As dosagens iniciais foram aquelas estimadas nos ensaios de coagulação em jarreste e consideradas como dosagens ótimas. Para o cálculo das dosagens dos produtos químicos foi considerada a vazão de 640 L/h fornecida pela câmara de nível constante. Após a coagulação química, a água era direcionada por gravidade para uma câmara de distribuição de vazão, a qual fornecia 317L/h de água coagulada para o filtro piloto descendente.

4.4.2.5. Filtro

O filtro de escoamento descendente é construído em aço inoxidável com seção interna quadrada de $380,25\text{cm}^2$. A altura total do filtro é de 4,2 metros, composto por uma base de 0,2 metros (fundo falso) e mais quatro módulos de 1 metro cada. Os módulos são unidos por flange com anel de borracha para a vedação. Os três primeiros módulos acima da base possuem visores laterais em chapa de acrílico para a observação do meio filtrante. Os módulos possuem também várias tomadas laterais com roscas internas para a entrada da água coagulada, saída da água filtrada, saída da água de lavagem e para os piezômetros de controle de perda de carga.

A composição do meio filtrante utilizada na fase experimental 1 foi diferente das demais fases.

Na fase experimental 1, o meio filtrante era formado por uma camada única de antracito, com diâmetro efetivo dos grãos de 2,5mm. A utilização deste meio filtrante deve-se ao fato de que, simultaneamente, se realizava uma outra pesquisa que analisava a influência da granulometria da camada filtrante sobre a duração das carreiras de filtração.

Nas fases experimentais 2 e 3 o meio filtrante era formado por uma camada dupla de antracito e areia com as mesmas características dos filtros da Estação de Tratamento de Água da Lagoa do Peri (diâmetro efetivo dos grãos de antracito de 1,1mm).

As tabelas 4.1 e 4.2 apresentam a composição do meio filtrante utilizado nas fases experimentais 1(meio L1), 2 e 3 (meio L2), respectivamente.

Tabela 4.1 – Composição do meio filtrante utilizado no filtro piloto durante a fase experimental 1 (meio L1).

Experimental 1 (Meio L1).

CAMADA FILTRANTE		
Meio L1		
Composição: Camada única de antracito		
Características	Camada única de Antracito	
Espessura da camada	143cm	
Diâmetro efetivo dos grãos	2,5mm	
Coeficiente de desuniformidade (CD)	1,1	
CAMADA SUPORTE		
Espessura total: 35cm		
Composição		
Subcamadas	Espessura (cm)	Diâmetro (mm)
Topo	5	19,0 a 12,7
6ª camada	5	12,7 a 6,4
5ª camada	5	6,4 a 3,2
4ª camada	5	3,2 a 1,6
3ª camada	5	3,2 a 6,4
2ª camada	5	6,4 a 12,7
Base	5	12,7 a 19,0

Tabela 4.2 – Composição do meio filtrante utilizado no filtro piloto durante as fases experimentais 2 e 3 (meio L2).

<u>CAMADA FILTRANTE</u>		
Meio L2		
Composição: Camada dupla de antracito e areia		
Características	Camada	
	Antracito	Areia
Espessura da camada	100cm	43cm
Diâmetro efetivo dos grãos	1,1mm	0,50mm
Coeficiente de desuniformidade (CD)	1,1	< 2
<u>CAMADA SUPORTE</u>		
Espessura total: 35cm		
Composição		
Subcamadas	Espessura (cm)	Diâmetro (mm)
Topo	5	19,0 a 12,7
6 ^a camada	5	12,7 a 6,4
5 ^a camada	5	6,4 a 3,2
4 ^a camada	5	3,2 a 1,6
3 ^a camada	5	3,2 a 6,4
2 ^a camada	5	6,4 a 12,7
Base	5	12,7 a 19,0

4.4.2.6. Carreiras de filtração

O filtro operou com taxa de filtração constante de $200\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e carga hidráulica variável. O registro da perda de carga era realizado por um conjunto de oito piezômetros instalados em diferentes profundidades ao longo do filtro. As carreiras de filtração eram interrompidas sempre que a perda de carga total no meio filtrante atingisse dois metros ou se a qualidade da água filtrada entrasse num processo crescente de degradação (transpasse de sólidos).

Ao final de cada carreira, o filtro era lavado com água filtrada e ar, em ciclos alternados, ou seja, injeção de ar por 5 minutos seguida de injeção de água filtrada por 5 minutos e assim repetidamente. A injeção de água filtrada era realizada à velocidade ascensional de $1\text{m}/\text{min}$, controlada por medidor eletrônico de vazão, e a injeção de ar, à velocidade ascensional de $20\text{ L}/\text{s}.\text{m}^2$, controlada pela pressão de alimentação (fixada em 1 atmosfera).

As carreiras de filtração eram realizadas alternadamente com ou sem pré-ozonização. Apenas a água filtrada das carreiras realizadas sem pré-ozonização era posteriormente direcionada para a unidade de ozonização (pós-ozonização).

4.4.2.7. Pós-ozonização

A pós-ozonização foi realizada somente nos ensaios das fases experimentais 2 e 3. A produção de água no filtro piloto descendente era de $317\text{L}/\text{h}$. Esta vazão de água filtrada das carreiras realizadas sem pré-ozonização era direcionada para a unidade de ozonização (pós-ozonização).

O sistema utilizado na pós-ozonização foi idêntico ao empregado na pré-ozonização. A única diferença foi o número de colunas utilizadas para a transferência de ozônio. A fim de resultar em tempos de contato próximos dos da pré-ozonização utilizou-se apenas a metade do número de colunas (uma coluna na fase 2 e duas colunas na fase 3).

A metodologia para o controle das concentrações de ozônio na pós-ozonização foi também idêntica àquela utilizada na pré-ozonização.

4.4.3. Avaliação das seqüências de tratamento investigadas

O desempenho das seqüências de tratamento compostas por pré-ozonização e filtração direta descendente e filtração direta descendente seguida, ou não, por pós-ozonização foi avaliado através de análises da qualidade da água e da perda de carga no filtro.

As análises de cor aparente, pH, turbidez e temperatura, bem como o controle da perda de carga, foram realizados de uma em uma hora durante a execução da carreira de filtração. Já as análises de cor verdadeira, clorofila-*a*, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, COT, densidade de cianobactérias e concentração de saxitoxinas foram realizadas através de amostras coletadas no momento em que a perda de carga no filtro atingia a altura de um metro de coluna de água.

4.4.3.1. Pontos de coleta das amostras de água e os parâmetros avaliados

As figuras 4.6 e 4.7 representam os pontos de coletas das amostras de água e as análises físico-químicas e biológicas realizadas.

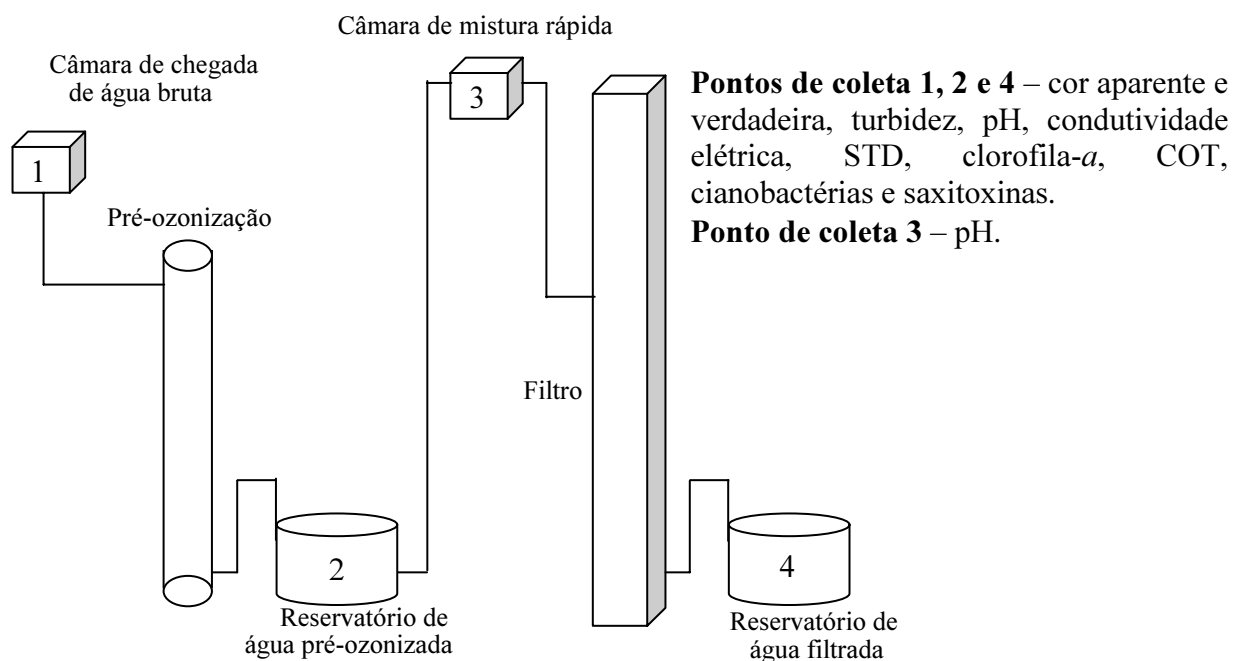


Figura 4.6- Esquema dos pontos de coleta de amostra nos ensaios com pré-ozonização

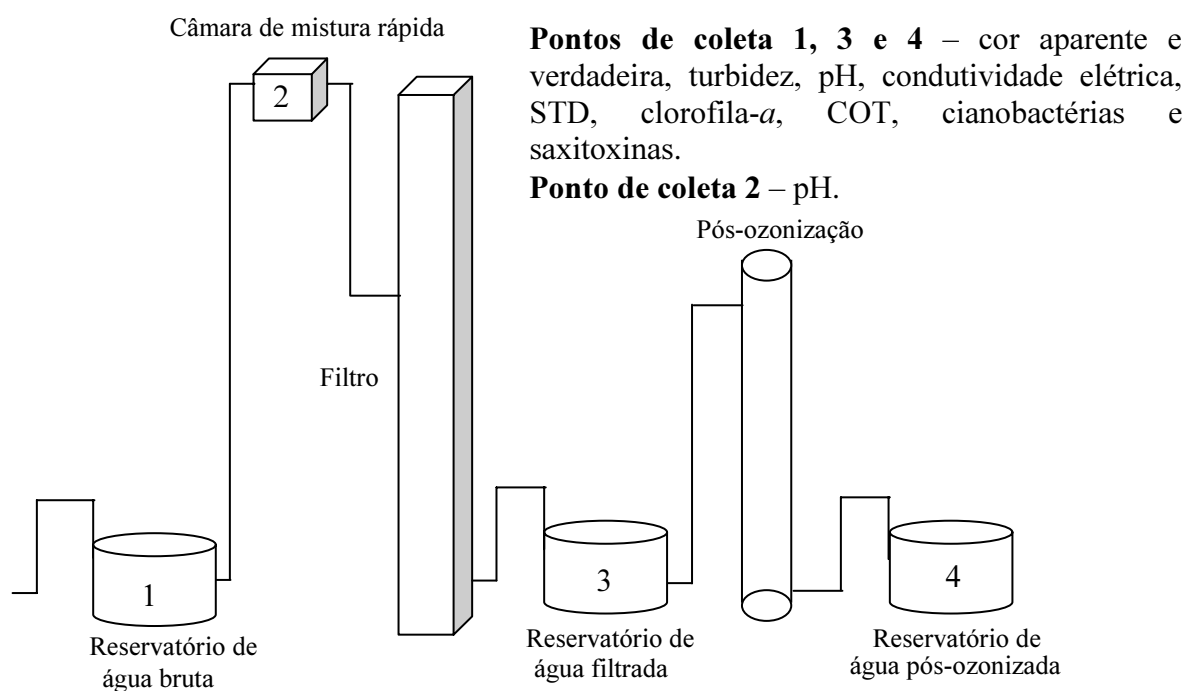


Figura 4.7- Esquema dos pontos de coleta de amostra nos ensaios com pós-ozonização

4.4.3.2. Tratamento das amostras

O quadro 4.3 apresenta o resumo dos procedimentos para o tratamento e preservação das amostras coletadas, bem como os laboratórios em que foram realizadas as análises.

Quadro 4.3 – Tratamento e preservação das amostras.

Parâmetro	Tratamento e preservação das amostras	Laboratório
Clorofila - <i>a</i>	Volume de água coletado - 300mL. As amostras foram fixadas com MgCO ₃ (solução 1%) e em seguida filtradas em membrana de 0,45 µm. A membrana foi guardada em papel alumínio e conservada sob refrigeração no escuro até o momento das análises	Laboratório de Potabilização de Águas – LAPOÁ (UFSC)
Cor aparente, Turbidez, pH, Condutividade elétrica e STD	Volume de água coletado - 100mL. As amostras foram imediatamente analisadas.	Laboratório de Águas da Lagoa do Peri – LALP (UFSC/CASAN)
Cor verdadeira	Volume de água coletado - 100mL. As amostras foram filtradas em membrana de 0,45 µm e analisadas.	LALP
COT	Volume de água coletado - 100mL. As amostras foram armazenadas em freezer até o momento das análises	LALP
Cianobactérias	Volume de água coletado - 100mL. As amostras foram fixadas com formol (solução 1%) e conservadas sob refrigeração até o momento das análises	Laboratório de Ficologia – LABFIC (UFSC)
Saxitoxinas	<u>Concentração total</u> - Volume de água coletado - 150mL. As amostras foram armazenadas em freezer até o momento das análises. (procedimento da fase 2). <u>Concentração intra/extracelular</u> Volume de água coletado - 1000mL. Foram filtrados 750mL da amostra em membrana de fibra de vidro de 1,22µm. A membrana foi guardada em papel alumínio e conservada sob refrigeração para a análise da concentração de saxitoxinas contida no interior das células (fração intracelular). A água que atravessou a membrana foi coletada e conservada sob refrigeração para a análise da concentração de saxitoxinas dissolvida em água (fração extracelular) (procedimento da fase 3).	Laboratório de Oceanografia Biológica - Algas Nocivas Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar – CTTMar Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI)

4.4.3.3. Métodos analíticos e equipamentos utilizados

O quadro 4.4 apresenta os parâmetros, os métodos e os equipamentos empregados na avaliação das seqüências de tratamento investigadas.

Quadro 4.4 – Relação dos parâmetros de qualidade da água, metodologias e equipamentos utilizados na avaliação das seqüências de tratamento.

Parâmetro	Método analítico/Equipamento associado
Clorofila - <i>a</i>	NUSCH (1980) / * Espectrofotômetro
Cor aparente	APHA Platinum – Cobalt -S.M **Espectrofotômetro , $\lambda = 455\text{nm}$
Cor verdadeira	Idem ao da cor aparente, com filtragem a vácuo em membrana 0,45 μm
COT	Kit HACH / ** Espectrofotômetro
Condutividade elétrica	Condutivímetro HACH
Densidade de cianobactérias	Contagem UTERMÖHL – HASLE (1978) – microscópio invertido LEITZ
PH	pHmetro HACH Senslon
Saxitoxinas	Cromatografia líquida de alta eficiência c/ derivatização pós-coluna e detecção por fluorescência (OSHIMA et al., 1995). Cromatógrafo e fluorímetro (RF51) da Shimadzu
Sólidos Dissolvidos Totais	Condutivímetro HACH (correlação com condutividade elétrica)
Temperatura	Termômetro de mercúrio
Turbidez	Turbidímetro portátil HACH DR 2100P

* Hach DR 4000; ** Hach DR 2010

4.4.3.4. Análise quantitativa das cianobactérias

Para estimar a densidade de cianobactérias, subamostras foram contadas ao microscópio invertido LEITZ, modelo DIAVERT, com aumento de 400 vezes, em câmara de sedimentação, de acordo com o método de Utermöhl (citado em HASLE, 1978).

O volume sedimentado foi de 5 mL. O tempo de sedimentação foi em média de 20 horas.

Como unidades de contagem (indivíduos) foram considerados os filamentos de cianobactérias. Os indivíduos foram contados em campos aleatórios. O número de campos foi o suficiente para alcançar, no mínimo, 400 indivíduos da espécie predominante. Assim, segundo Lung et al. (1958), o erro obtido é de 10% com grau de confiança de 95%.

A densidade das cianobactérias foi calculada utilizando-se a fórmula proposta por Torgan (1997):

$$\text{Indivíduos/mL} = \text{Fator} \times \text{número de indivíduos contados} \quad \text{Equação 4.1}$$

$$\text{Fator} = 1 \text{ mL/mL contados} \quad \text{Equação 4.2}$$

$$\text{mL contados} = (\text{sc} \times \text{nc} \times \text{h}) / 10^9 \quad \text{Equação 4.3}$$

Onde:

sc = superfície do campo (μm^2)

nc = número de campos contados

h = altura da câmara (mm)

A densidade das espécies de cianobactérias filamentosas foi também expressa em número de células por mililitro. Multiplicou-se o número de indivíduos/mL pelo número médio de células por filamento daquela espécie.

Os filamentos pequenos (até três células), provenientes da fragmentação de filamentos maiores, foram contados separadamente para o cálculo total da densidade de células de cianobactérias por mililitro de água.

4.4.3.5. Análise da concentração de saxitoxinas

As análises de concentração de saxitoxinas foram realizadas nas fases 2 e 3. O método utilizado para análise de saxitoxinas nas duas fases experimentais é uma adaptação do procedimento descrito por OSHIMA et al. (1995). Este método consiste na separação iônica por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) com derivatização pós-coluna e a detecção por fluorescência.

A adaptação do método utilizado na fase 2 é praticamente a mesma da fase 3, com exceção de algumas pequenas modificações decorrentes da utilização de diferentes colunas cromatográficas e sistemas de injeção de amostras.

O processamento das amostras também é diferenciado nas fases 2 e 3. Na fase 2 as amostras foram coletadas apenas para as análises da concentração total de saxitoxinas. As amostras foram ultrasonificadas por um minuto para o rompimento das células e liberação das toxinas para a água. Após a este procedimento, as amostras foram injetadas manualmente no cromatógrafo.

Na fase 3 as amostras foram concentradas, ainda na etapa de coleta, para a separação da fração intra e extracelular das saxitoxinas. A fração intracelular foi extraída, concentrada e purificada antes da injeção no cromatógrafo. A fração extracelular foi apenas purificada. As amostras intra e extracelulares das saxitoxinas foram injetadas automaticamente no cromatógrafo.

4.4.3.5.1. Extração e concentração da fração intracelular

Na extração das saxitoxinas intracelular, o filtro (membrana de fibra de vidro de 1,22µm) contendo o material retido foi picotado e imerso em solução de ácido acético 0,1M e, em seguida, ultrasonificado por 1 minuto.

Reservou-se a parcela sobrenadante e a parcela precipitada foi filtrada novamente na membrana de 1,22µm. O procedimento foi repetido por mais duas vezes, ou seja, uma tripla extração. O material sobrenadante concentrado foi purificado.

4.4.3.5.2. Purificação das amostras

As amostras para as análises da fração extracelular (dissolvida na água), assim como as provenientes do processo de extração-concentração (fração intracelular), foram purificadas através de um cartucho de troca iônica (C18).

O cartucho C18 foi inicialmente ativado injetando-se 10mL de metanol. Após o procedimento de ativação, o cartucho foi seco com ar.

Em seguida, injetou-se 3 mL da amostra. Os primeiros 1,5mL percolados foram desprezados e os últimos recolhidos. O cartucho C18 não tem afinidade com as saxitoxinas. Por este motivo, permite a livre percolação das saxitoxinas e não as retém em seu interior.

O material recolhido foi armazenado em freezer até o momento da análise no cromatógrafo.

4.4.3.5.3. Análises em cromatografia líquida de alta eficiência com derivatização pós-coluna e detecção por fluorescência (adaptação de OSHIMA et al., 1995)

O quadro 4.5 apresenta o resumo das condições cromatográficas empregadas na metodologia para as análises de saxitoxinas realizadas nas fases experimentais 2 e 3.

Quadro 4.5 – Resumo das condições cromatográficas empregadas nas fases 2 e 3.

Condições cromatográficas	FASE EXPERIMENTAL 2	FASE EXPERIMENTAL 3
Cromatógrafo	Shimadzu	Shimadzu
Coluna	Merck Lichrospher 4,6mm x 125 mm compactada com partículas de 5µm (RP-8) A coluna é acondicionada a 30°C	Phenomex Luna 4,6mm x 250 mm compactada com partículas de 5µm (RP-8) A coluna é acondicionada a 30°C
Fase móvel	<u>Para SXT e NEO:</u> 2mM de 1-heptanosulfonato de sódio em 30mM de fosfato de amônio, pH 7,1 e acetonitrilo 10:5.	<u>Para GXT1,2,3,4 e 5 e dcGTX2 e 3:</u> 2mM de 1-heptanosulfonato de sódio em 10mM de fosfato de amônio, pH 7,1. <u>Para SXT, NEO e dcSTX:</u> 2mM de 1-heptanosulfonato de sódio em 30mM de fosfato de amônio, pH 7,1 e acetonitrilo 10:5.
Oxidação pós-coluna	<u>Reação oxidante:</u> Em 10 metros de tubos a 85°C <u>Agente oxidante:</u> 7mM de ácido periódico em 50mM de tampão fosfato de potássio pH 9. Fluxo: 0,4mL/min. <u>Agente ácido (estabilizador):</u> 500mM ácido acético. Fluxo: 0,2mL/min.	<u>Reação oxidante:</u> Em 10 metros de tubos a 85°C (forno seco) ou 85°C (banho de água). <u>Agente oxidante:</u> 7mM de ácido periódico em 50mM de tampão fosfato de potássio pH 9. Fluxo: 0,2mL/min. <u>Agente ácido (estabilizador):</u> 500mM ácido acético (temp. amb.). Fluxo: 0,2mL/min.
Detecção por fluorescência	Fluorímetro FR551 Shimadzu, 330nm de excitação e 390nm de emissão.	Fluorímetro FR551 Shimadzu, 330nm de excitação e 390nm de emissão.

Todos reagentes utilizados nas análises em cromatografia líquida de alta eficiência foram de grau HPLC e água Milli-q.

A análise de cada amostra dura 20 minutos para a corrida cromatográfica, com intervalos de 5 a 10 minutos de espera antes da corrida de uma próxima amostra. Os tempos de retenção dos picos identificados nos cromatogramas das amostras são comparados aos dos cromatogramas dos padrões de saxitoxinas (SXTs), adquiridos através do Centro Nacional de Pesquisa do Canadá (CNRC).

Na fase experimental 2, devido à limitação de padrões cromatográficos por ocasião das análises, avaliaram-se apenas as concentrações de saxitoxina (STX) e neosaxitoxina (NEO). Já na fase experimental 3, as análises cromatográficas foram realizadas em relação a dez tipos de saxitoxinas: saxitoxina (STX), neosaxitoxina (NEO), decarbamoilsaxitoxina (dcSTX), goniatoxina (GTX) 1,2,3,4 e 5 e decarbamoilgoniatoxina (dcGTX) 2 e 3.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados de cada fase experimental são apresentados e discutidos separadamente nas seções 5.1, 5.2 e 5.3 deste capítulo. Na seção final, 5.4, a discussão abrange uma análise comparativa entre as três fases da pesquisa.

5.1 – Fase experimental 1

5.1.1 - Ensaio de coagulação em jarreste

Segundo Di Bernardo et al. (2002) o mecanismo de coagulação mais adequado à filtração direta descendente é o de adsorção e neutralização de cargas, pois nesta tecnologia, o importante não é a formação de flocos grandes, mas sim, partículas desestabilizadas para serem retidas no filtro.

Benhardt e Clasen (1991), citados por FUNASA (2003), relataram que microalgas mais ou menos esféricas e com superfícies suaves são mais bem desestabilizadas no mecanismo de adsorção e neutralização de cargas, ao passo que as microalgas não esféricas, grandes ou filamentosas, necessitam de grandes dosagens de coagulante para serem desestabilizadas, resultando no predomínio do mecanismo de varredura.

Os estudos de Laudares-Silva (1997), Mondardo (2004) e Grellmann (2006) identificaram que a dominância do fitoplâncton na Lagoa do Peri é de uma espécie de cianobactéria filamentosa, *Cylindrospermopsis raciborskii*.

Considerando as informações dos estudos citados, deparou-se com uma dicotomia. Se por um lado, a coagulação com sais de alumínio na filtração direta descendente deve ser realizada no mecanismo de adsorção e neutralização de cargas, por outro, espécies filamentosas de cianobactérias são mais bem desestabilizadas através do mecanismo de varredura.

Por ser fundamental ao bom desempenho da filtração direta descendente, principalmente em relação à duração das carreiras de filtração, procurou-se não

realizar os ensaios de coagulação com dosagens de coagulante acima das comumente indicadas para esta tecnologia.

As planilhas com os resultados obtidos nos ensaios de coagulação com a água bruta e pré-ozonizada ($1,0\text{mgO}_3/\text{L}$) estão no apêndice A.1. A partir desses resultados, elaboraram-se os diagramas de coagulação (hidroxicloreto de alumínio) para água bruta e pré-ozonizada, em relação à turbidez remanescente na água filtrada. A figura 5.1 apresenta o diagrama de coagulação (HCA) para água bruta.

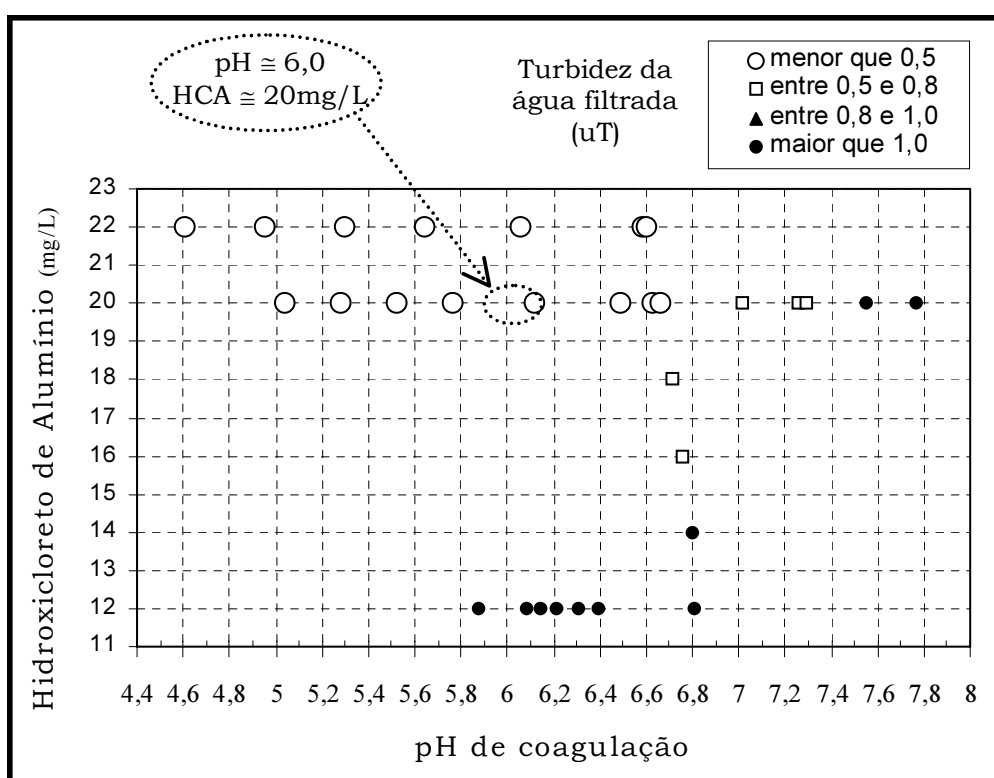


Figura 5.1 - Diagrama de coagulação do hidroxicloreto de alumínio para água bruta - Fase 1

Os melhores resultados para água bruta, ou seja, os menores valores de turbidez da água filtrada, foram alcançados com dosagens de hidroxicloreto de alumínio próximas de 20mg/L e pH de coagulação em torno de 6,0 (obtido com cerca de $0,40\text{mL/L}$ de ácido sulfúrico).

A figura 5.2 apresenta o diagrama de coagulação (hidroxicloreto de alumínio) para água pré-ozonizada ($1,0\text{mgO}_3/\text{L}$).

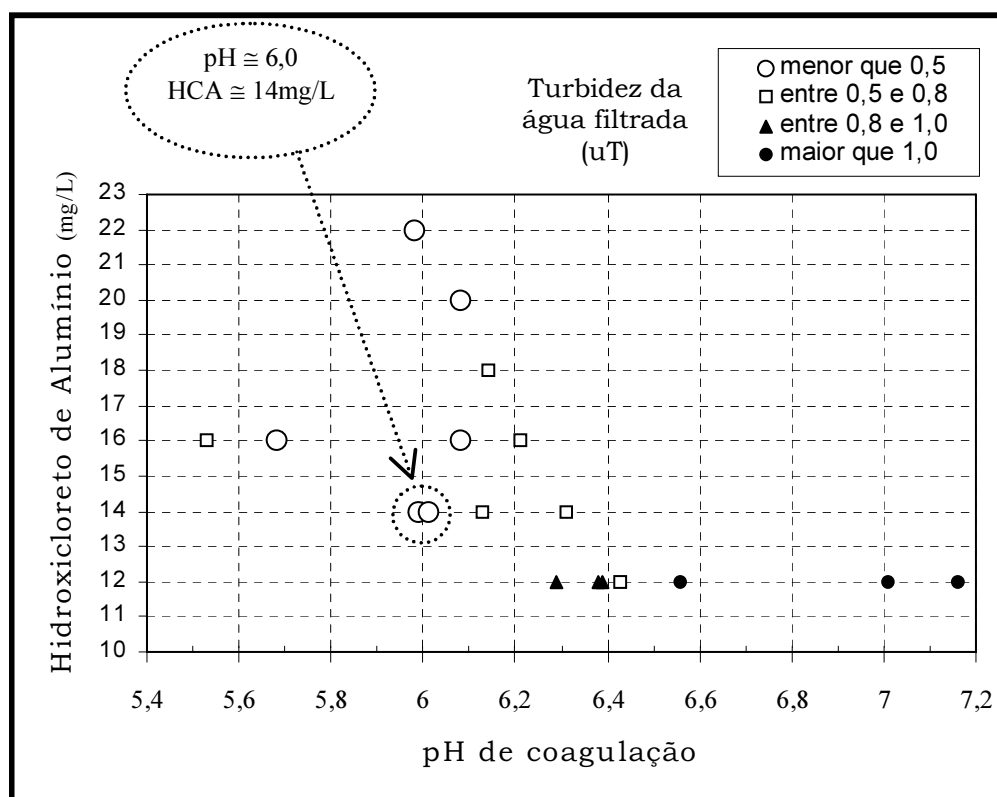


Figura 5.2 - Diagrama de coagulação do hidroxicloreto de alumínio para água pré-ozonizada ($1,0\text{mgO}_3/\text{L}$) – Fase 1

Para água pré-ozonizada, os melhores resultados foram alcançados com dosagens de hidroxicloreto de alumínio próximas de $14,0\text{mg/L}$ e pH de coagulação, outra vez, em torno de 6,0 (obtido neste caso com cerca de $1,0\text{mL/L}$ de ácido sulfúrico).

Assim, estas dosagens de coagulante, determinadas para água bruta e pré-ozonizada nos ensaios em jarteste, foram utilizadas inicialmente nas carreiras de filtração da fase 1.

5.1.2 - Ensaios no sistema piloto de filtração direta - Qualidade da água filtrada e duração das carreiras de filtração

Como já descrito no capítulo referente à metodologia, os ensaios realizados na fase 1 avaliaram apenas o efeito da pré-ozonização ($1,0\text{mgO}_3/\text{L}$) em relação à

duração das carreiras de filtração e à qualidade da água filtrada em termos de turbidez e cor aparente.

As planilhas de acompanhamento das carreiras de filtração estão no apêndice A.2, identificadas de A.2.1 a A.2.6. A tabela 5.1 apresenta o resumo dos resultados das carreiras de filtração da fase 1.

Tabela 5.1 – Resultado das carreiras de filtração com e sem pré-ozonização– Fase 1

Ensaio Data 2003	Água bruta			Coagulação		Água filtrada (com Pré-O ₃)		Água filtrada (sem Pré-O ₃)		Duração da carreira (h)
	pH	Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)	pH	HCA Dose (mg/L)	Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)	Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)	
1.1 12/3	6,9 6,3-8,5	3,63 3,24-4,05	58 53-64	6,1 5,9-6,2	22,0	----	----	0,51 0,38-0,82	6 2-11	13,33
1.2 19/3	7,2 6,4-9,0	4,12 3,60-4,94	57 51-64	5,9 5,0-6,2	14,0	0,49 0,26-0,67	4 < 1 - 8	----	----	20,2
1.3 31/3	6,8 6,0-7,8	4,20 3,47-4,75	65 61-71	6,0 5,7-6,2	22,0	----	----	0,48 0,39-0,57	7 5-10	11,42
1.4 14/4	7,5 6,7-9,5	4,30 3,65-4,97	59 55-62	5,9 5,8-6,2	14,0	0,24 0,15-0,41	1 < 1 - 4	----	----	15,16
1.5 28/4	6,7 6,1-6,9	3,76 3,13-4,73	51 43-56	6,0 5,9-6,2	22,0	----	----	0,45 0,39-0,53	4 3-6	15,5
1.6 05/5	7,4 6,6-9,6	4,32 3,90-4,65	54 37-59	6,0 5,8-6,2	14,0	0,37 0,15-0,62	1 < 1 - 4	----	----	21,33

Obs: Os parâmetros de qualidade de água são representados por valores médios e a faixa de variação (ex: 6,3 – 8,5).

< 1 = valor menor do que 1 uH

As dosagens de hidroxicloreto de alumínio nas carreiras realizadas com pré-ozonização foram de 14mg/L, o que representa uma redução de 36% no consumo de coagulante em comparação com os 22mg/L utilizados nas carreiras sem o pré-tratamento. Esta redução poderia ser ainda maior, uma vez que os valores médios de turbidez e cor aparente da água filtrada das carreiras sem pré-ozonização foram sempre maiores. A turbidez e a cor aparente remanescente da água filtrada, para as carreiras com pré-ozonização, foram, em média, de 0,36uT e 2uH, respectivamente. Os valores médios, para os mesmos parâmetros nas carreiras sem pré-ozonização, foram 0,48uT e 6uH. Os resultados obtidos demonstraram que o ozônio reduziu a dosagem de coagulante e aumentou a qualidade da água filtrada.

De acordo com Dalsasso (1999) e Di Bernardo et al. (2002), quando a água bruta apresenta cor muito elevada, o tratamento por coagulação química pode ser auxiliado pela ozonização, o que pode permitir a redução da dosagem de coagulante.

Segundo Drago (1989), citado em Di Matteo (1992), o ozônio aumenta a eficiência da coagulação e reduz a dosagem de coagulante devido não só à oxidação de íons metálicos (ferro e manganês), que formam precipitados, como também devido a mudanças na estrutura e tamanho das partículas suspensas.

Em relação à duração das carreiras, comparadas duas a duas, ensaios 1.1/1.2, 1.3/1.4 e 1.5/1.6, devido à proximidade da data de execução, verifica-se que a pré-ozonização ocasiona aumentos de 52%, 33% e 38% nas carreiras de filtração, o que, em média, representa mais de 5 horas.

A figura 5.3 representa o desempenho das carreiras dos ensaios 1.5 e 1.6, realizadas sem e com pré-ozonização, respectivamente. O parâmetro com a diferença mais significativa foi a cor aparente. No ensaio com pré-ozonização (1.6), a cor aparente não foi detectada em mais de 50% das amostras de água filtrada coletadas durante a realização da carreira de filtração. Avaliando-se as curvas de perda de carga para os ensaios 1.5 e 1.6, observa-se que a taxa de crescimento da perda de carga devido à retenção de impurezas foi maior na carreira realizada sem pré-ozonização (taxa média de 11,42cm/h) do que na carreira com pré-ozonização (taxa média de 7,68cm/h).

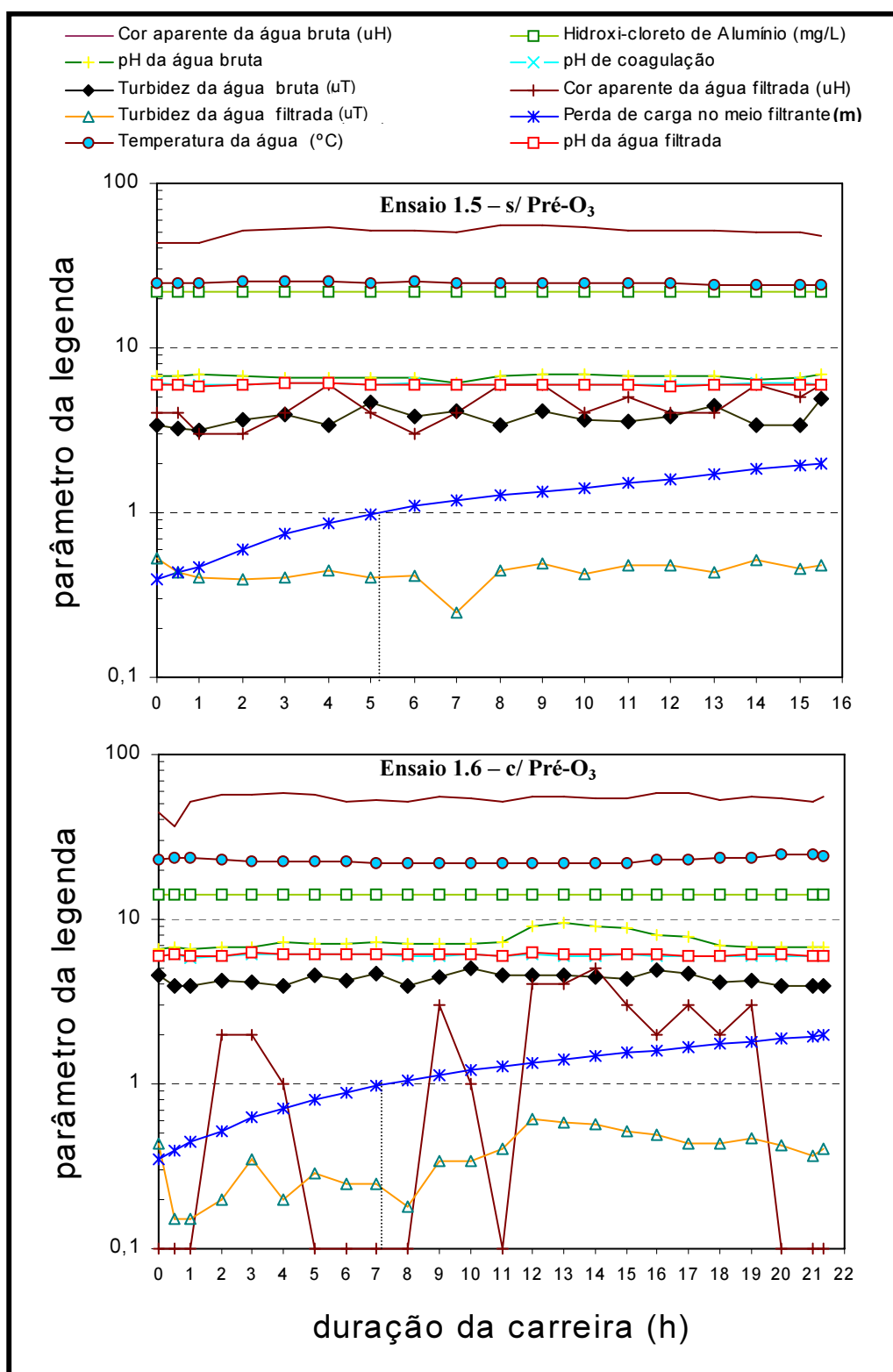


Figura 5.3 - Comparação da variação da perda de carga e qualidade da água filtrada entre carreiras realizadas sem e com pré-ozonização – Fase 1

A figura 5.4 ilustra a participação do meio filtrante na retenção de impurezas para os ensaios 1.1 (sem pré-ozonização) e 1.2 (com pré-ozonização).

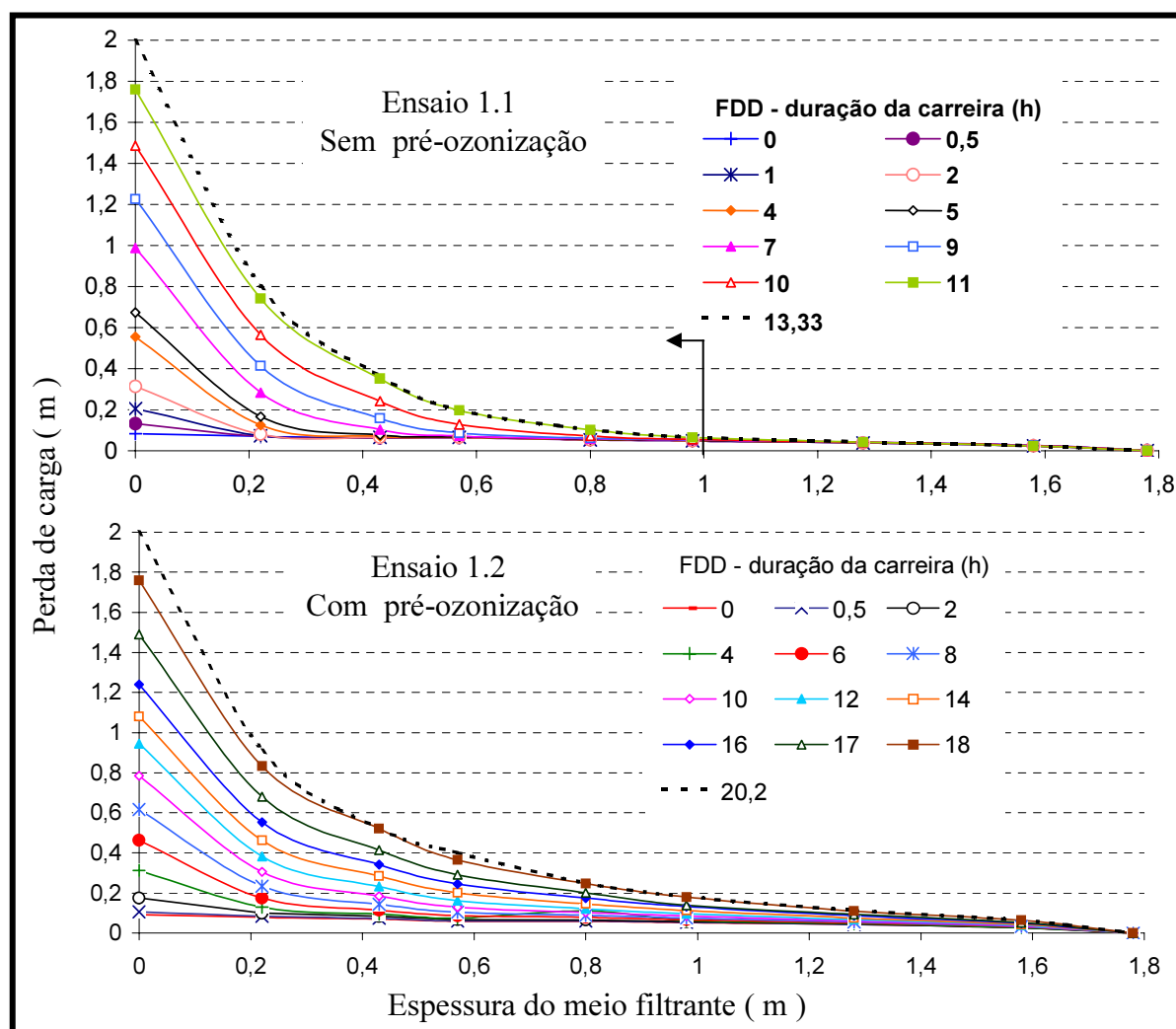


Figura 5.4 - Comparação da perda de carga no meio filtrante entre carreiras realizadas sem e com pré-ozonização – Fase 1

Além da menor dosagem de coagulante requerida, a pré-ozonização foi também responsável por uma maior participação do leito filtrante. Enquanto no ensaio 1.1, realizado sem pré-ozonização, as impurezas foram retidas praticamente no primeiro metro do meio filtrante; no ensaio 1.2, com pré-ozonização, o meio do filtro foi mais exigido, envolvendo quase toda a camada filtrante. Tal desempenho pode ser explicado pela capacidade do ozônio em facilitar a coagulação e promover a formação de microflocos, os quais penetrariam mais profundamente na camada filtrante. De acordo com Dowbiggin e Singer (1989), citados por Di Matteo (1992), o

ozônio altera a quantidade de cargas nas superfícies das partículas, o que facilita a coagulação.

5.2 – Fase experimental 2

5.2.1 – Ensaaios de coagulação em jarteste

As planilhas com os resultados obtidos nos ensaios de coagulação (sulfato de alumínio) com a água bruta e pré-ozonizada ($2,0\text{mgO}_3/\text{L}$) estão no apêndice B.1. A partir desses resultados, elaboraram-se os diagramas de coagulação (sulfato de alumínio) para água bruta e pré-ozonizada, em relação à turbidez remanescente da água filtrada. A figura 5.5 apresenta o diagrama de coagulação para água bruta.

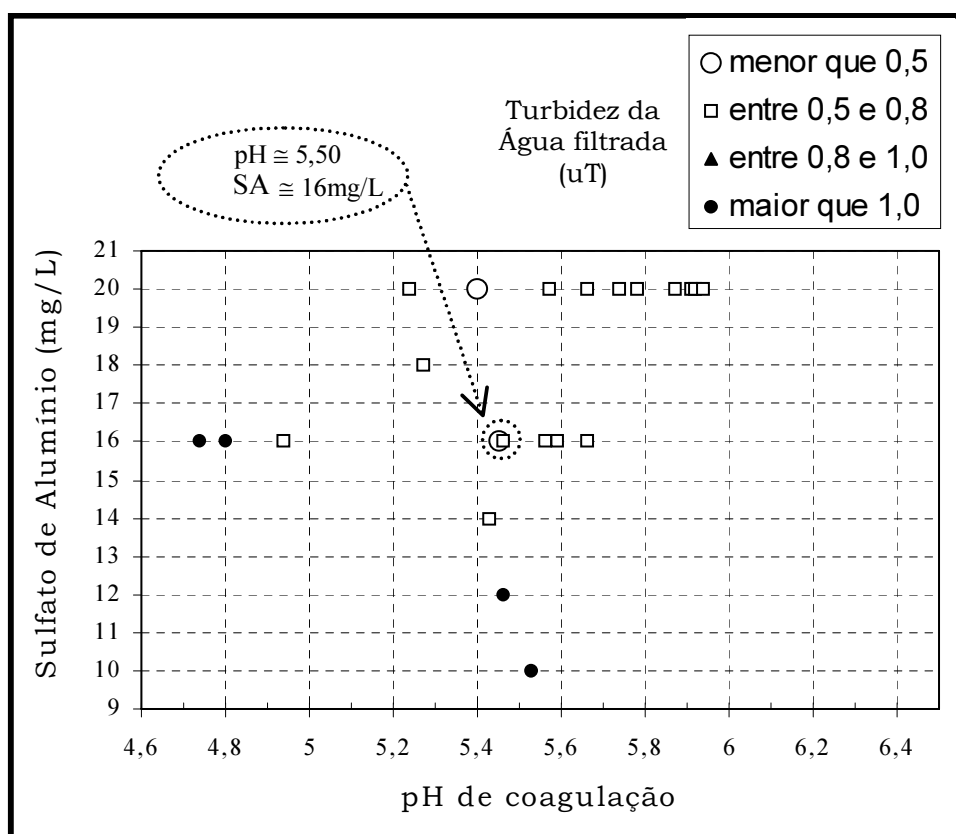


Figura 5.5 - Diagrama de coagulação do sulfato de alumínio para água bruta – Fase 2

Os melhores resultados para água bruta, ou seja, os menores valores de turbidez da água filtrada, foram alcançados com dosagens de sulfato de alumínio próximas de 16mg/L e pH de coagulação em torno de 5,50 (obtido com cerca de

0,1mL/L de ácido sulfúrico). Os diagramas de coagulação não abrangeram uma vasta faixa de pH, restringindo-se principalmente a valores entre 4,5 e 6,5.

A faixa de valores de dosagem de coagulante e pH da mistura que produzem resultados satisfatórios são bem mais estreitos no mecanismo de adsorção e neutralização de cargas, do que no mecanismo de varredura (DI BERNARDO, 2003).

A figura 5.6 apresenta o diagrama de coagulação para água pré-ozonizada.

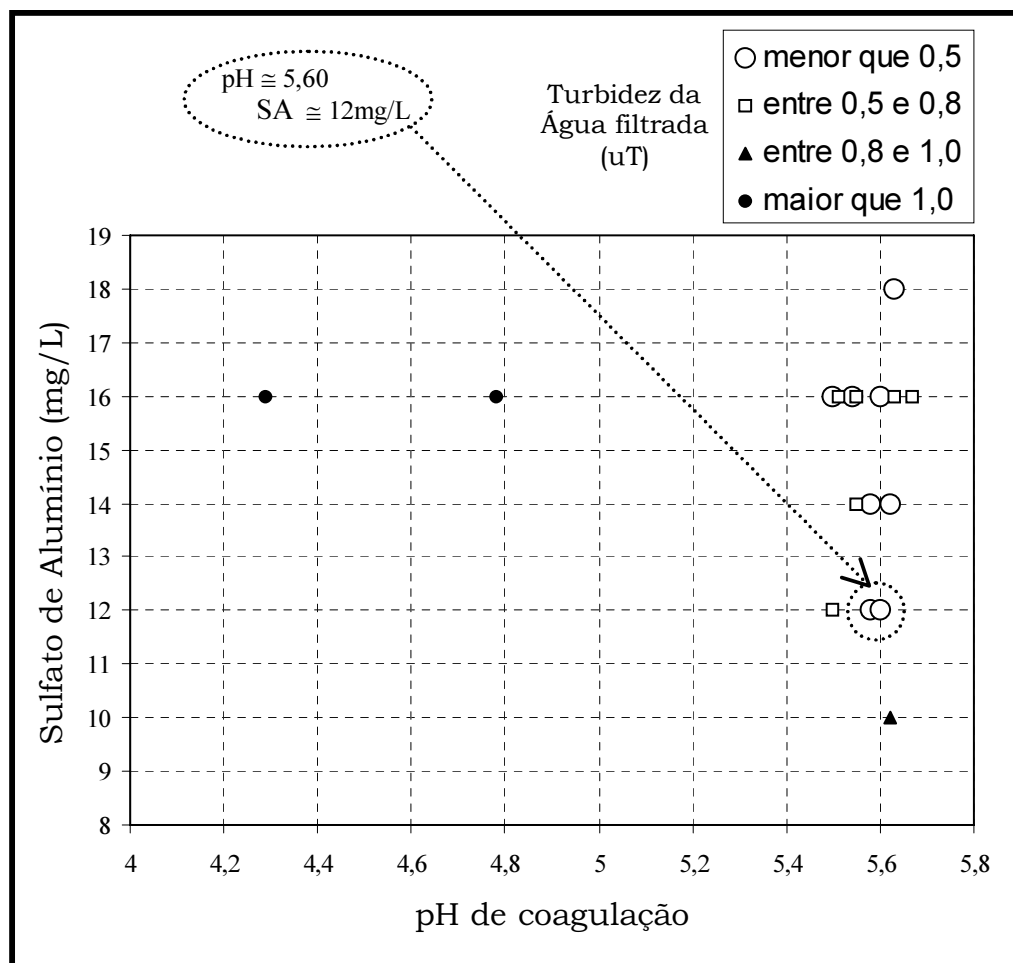


Figura 5.6 - Diagrama de coagulação do sulfato de alumínio para água pré-ozonizada – Fase 2

Para água pré-ozonizada os melhores resultados foram alcançados com dosagens de sulfato de alumínio próximas de 12,0mg/L e pH de coagulação em torno de 5,60 (obtido sem aplicação de alcalinizante ou acidificante).

Assim, estas dosagens de coagulante, determinadas para água bruta e pré-ozonizada nos ensaios em jarreste, foram utilizadas inicialmente nas carreiras de filtração da fase 2.

5.2.2 – Ensaios no sistema piloto de filtração direta

5.2.2.1 – Qualidade da água filtrada e duração das carreiras de filtração

Nesta seção a etapa da pós-ozonização não é avaliada por não ter influência no desempenho das carreiras de filtração, mas apenas sobre a qualidade final da água produzida. As planilhas de acompanhamento das carreiras de filtração estão no apêndice B.2.2, identificadas de B.2.1 a B.2.4. A tabela 5.2 apresenta o resumo dos resultados das carreiras de filtração da fase 2.

Tabela 5.2 – Resultado das carreiras de filtração com e sem pré-ozonização– Fase 2

Ensaio Data 2005	Água bruta			Coagulação		Água filtrada (com Pré-O ₃)		Água filtrada (sem Pré-O ₃)		Duração da carreira (h)
	pH	Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)	pH	SA Dose (mg/L)	Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)	Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)	
2.1 12/4	6,8 6,7-6,9	5,74 5,22-6,91	80 73-89	5,6 5,4-5,7	18,5	----	----	0,58 0,44-0,87	4 < 1 - 7	5,98
2.2 15/4	7,0 6,8-7,1	5,97 4,82-7,10	76 59-86	5,7 5,5-5,9	12,0	0,36 0,30-0,58	2 < 1 - 6	----	----	7,00
2.3 19/4	7,0 6,8-7,1	6,14 5,35-7,04	80 72-91	5,6 5,6-5,8	9,0	0,49 0,45-0,57	1 < 1 - 3	----	----	8,25
2.4 20/4	6,8 6,7-6,9	5,77 5,06-6,71	78 73-82	5,5 5,3-5,6	20,5	----	----	0,50 0,36-0,69	6 3-8	5,92

Obs: Os parâmetros de qualidade de águas são representados por valores médios e a faixa de variação (ex: 6,7– 6,9).

< 1 = valor menor do que 1 uH

A turbidez e a cor aparente da água filtrada, para as carreiras com pré-ozonização, foram, em média, de 0,42uT e 2uH, respectivamente. Por outro lado, para os mesmos parâmetros nas carreiras sem pré-ozonização, os valores médios situaram-se em torno de 0,54uT e 5uH. As dosagens de sulfato de alumínio nas carreiras realizadas com pré-ozonização foram de 9mg/L (ensaio 2.3) e 12,0mg/L (ensaio 2.2), representando uma redução de até 56% no consumo de coagulante

quando comparado aos 20,5mg/L (ensaio 2.4) e 18,5 mg/L (ensaio 2.1) utilizados nas carreiras sem pré-ozonização. A razão da diminuição da dosagem de coagulante entre os ensaios 2.2 e 2.3 (ambos com pré-ozonização) de 12 para 9 mg/L deve-se ao fato de a água filtrada ter atingido facilmente valores de turbidez e cor aparente abaixo dos limites estabelecidos para as carreiras de filtração, ou seja, de 0,5uT e 5uH, respectivamente. Por outro lado, a dosagem de coagulante nos ensaios 2.1 e 2.4 (ambos sem pré-ozonização) foi aumentada de 18,5 para 20,5 mg/L a fim de permitir alcançar os limites estabelecidos para turbidez e cor aparente. A diferença da dosagem de sulfato de alumínio poderia ser até maior, levando-se em conta que a cor remanescente dos ensaios sem pré-ozonização ainda está muito alta em relação aos ensaios realizados com pré-ozonização, necessitando maiores dosagens de coagulante. Em relação à duração das carreiras de filtração, comparando-as duas a duas, ensaios 2.1/2.2 e 2.3/2.4, verifica-se que a pré-ozonização ocasionou um pequeno aumento nas carreiras, em média, de menos de duas horas.

A figura 5.7 representa o desempenho das carreiras dos ensaios 2.4 e 2.3, realizadas sem e com pré-ozonização, respectivamente. Os valores de cor aparente da água filtrada no ensaio 2.3 foram sempre inferiores aos valores obtidos no ensaio 2.4. Avaliando-se as curvas de perda de carga para os ensaios 2.3 e 2.4, observa-se que a taxas médias de crescimento da perda de carga para ambos os ensaios foram altas, aproximadamente de 21cm/h e 30cm/h, respectivamente.

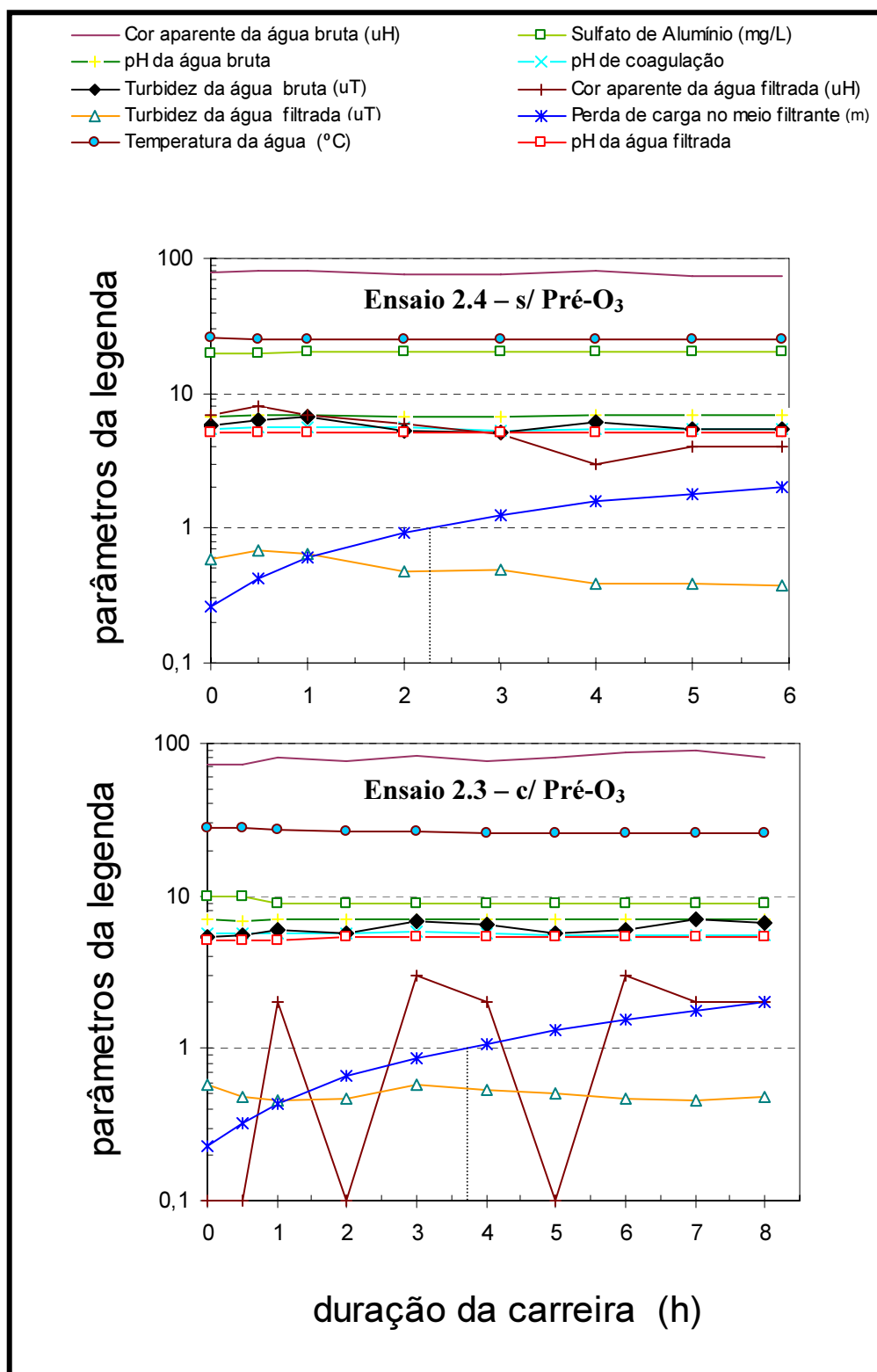


Figura 5.7 – Comparação da variação da perda de carga e qualidade da água filtrada entre carreiras realizadas sem e com pré-ozonização – Fase 2

A figura 5.8 ilustra a participação do meio filtrante na retenção de impurezas para os ensaios 2.4 (sem pré-ozonização) e 2.3 (com pré-ozonização).

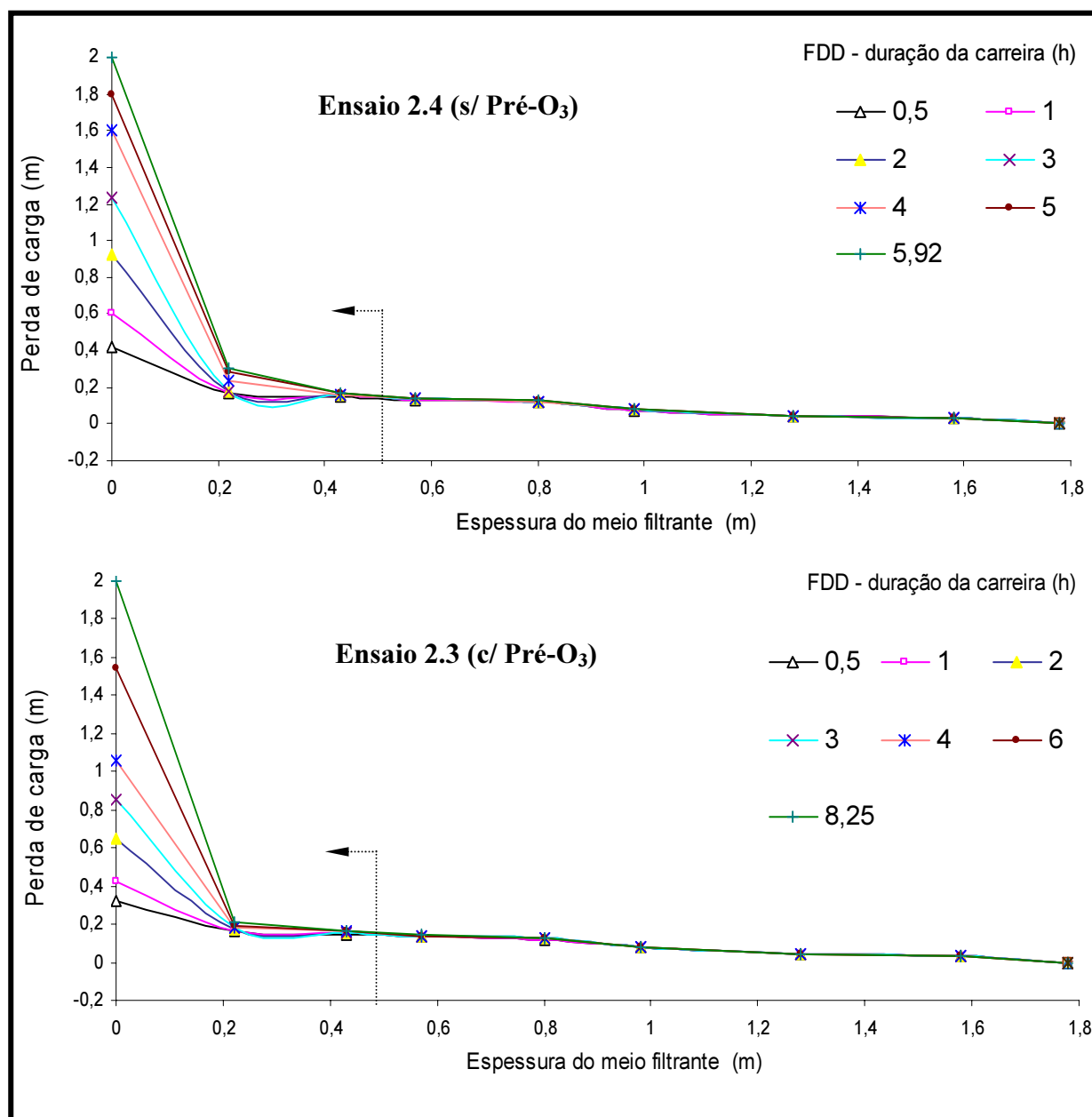


Figura 5.8 - Comparação da perda de carga no meio filtrante entre carreiras realizadas sem e com pré-ozonização – Fase 2

O desempenho do meio filtrante na retenção de impurezas foi muito semelhante tanto nas carreiras com pré-ozonização como naquelas sem, ocorrendo em ambos os casos praticamente nos primeiros 50 cm.

A pré-ozonização nos ensaios da fase experimental 2 atuou como um auxiliar de coagulação, reduzindo a dosagem de coagulante e permitindo que o filtro

produzisse água de melhor qualidade, principalmente em relação à remoção da cor aparente.

Esperava-se também que a pré-ozonização, por facilitar a coagulação e promover a formação de microflocos, favorecesse um acúmulo de sólidos mais uniforme e melhor distribuído ao longo do meio filtrante, o que proporcionaria menores taxas de crescimento de perda de carga no filtro e, conseqüentemente, carreiras de filtração mais longas.

5.2.2.2 – Avaliação das seqüências de tratamento investigadas

Os resultados das análises da água produzida através da filtração direta descendente em composição, ou não, com a ozonização, empregada como pré ou pós-tratamento, são apresentados e comparados nesta seção.

5.2.2.2.1 – Qualidade da água produzida

As análises de qualidade da água produzida em cada etapa das seqüências de tratamento investigadas podem ser vistas nas tabelas B.2.5 e B.2.6 do apêndice B.2.3.

De um modo geral, os valores das análises da água produzida na seqüência composta por pré-ozonização e filtração rápida descendente (filtração direta) são menores do que os da água produzida somente por filtração direta, ou mesmo, por filtração direta e pós-ozonização.

A tabela 5.3 mostra os valores médios dos resultados das análises para água bruta e produzida nas seqüências de tratamento dos ensaios 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4.

Tabela 5.3 – Análises da água bruta e produzida nas seqüências de tratamento–Fase 2

Parâmetros	Água Bruta	Água Produzida		
		Pré-O ₃ /FD	FD	FD/Pós-O ₃
Cor aparente (uH)*	78 59-91	2 < 1- 6	5 < 1- 8	4 < 1- 7
Cor verdadeira (uH)	6 6-8	< 1	< 1	< 1
Condutividade elétrica (µS/cm)	78 76-80	82 78-86	88 86-90	82 81-84
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	39 38-40	41 39-43	44 43-45	41 40-42
Turbidez (uT)*	5,90 4,82-7,10	0,42 0,30-0,58	0,54 0,36-0,87	0,46 0,36-0,66
COT (mg/L)	8,2 7,0-9,8	1,8 1,8-1,9	3,6 2,5-4,6	2,6 2,3-2,9
Clorofila- <i>a</i> (µg/L)	33,55 27,90-36,60	2,90 2,70-3,10	5,15 5,12-5,18	3,30 2,90-3,70
Cianobactérias (ind./mL)	133.665 110.998-155.768	662 640-683	9.701 8.621-10.781	2.460 2.424-2.497

*Análises de amostras coletadas de uma em uma hora durante a carreira de filtração. Os demais parâmetros são relativos às análises de amostras coletadas quando a perda de carga do filtro atingia a 1 m de coluna d'água.

< 1 = valor menor do que 1 uH.

Os valores separados por hífen (ex: 59-91) representam a faixa de variação do parâmetro. FD = Filtração Direta

A razão do aumento verificado na condutividade elétrica e, consequentemente nos sólidos totais dissolvidos (STD – estimado através dos valores de condutividade) nas amostras da água produzida, em relação à água bruta, deve-se provavelmente ao efeito da ozonização sobre o aumento da solubilidade do coagulante e do alcalinizante ou, simplesmente, à adição destes (caso da filtração direta sem pré-ozonização), ou ainda, ao aumento do número de partículas, porém de tamanhos menores, ocasionado por uma oxidação parcial (“quebra” de partículas).

A água produzida na seqüência composta por pré-ozonização e filtração rápida descendente (filtração direta) foi de melhor qualidade. Em relação à cor aparente, turbidez, COT, clorofila-*a* e número de cianobactérias, a ozonização da água filtrada não foi suficiente para alcançar o desempenho da filtração da água pré-ozonizada.

Os resultados demonstraram a importância do acondicionamento da água para a aplicabilidade da tecnologia da filtração direta descendente em mananciais com elevada densidade de cianobactérias.

5.2.2.2.2 – Remoção de cianobactérias

A tabela 5.4 apresenta os valores do número de espécies de cianobactérias (indivíduos e células por mililitro de água) identificadas nas amostras de água das diferentes etapas das seqüências de tratamento dos ensaios 2.1 e 2.2.

Tabela 5.4 – Contagem do número de cianobactérias nas amostras de água das diferentes etapas das seqüências de tratamento dos ensaios 2.1 e 2.2

Ensaio	Cianobactérias		Água Bruta	Água Pré-O ₃	Água Filtrada	Água Pós-O ₃
Ensaio 2.1 (12/04/05)	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	Ind./mL	61.950		3.389	1.159
		Cél./mL	929.251		50.832	17.390
	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (filamentos com até três células)	Ind./mL	46.611		4.935	1.219
		Cél./mL	139.834		14.804	3.656
	<i>Planktolyngbya sp.</i>	Ind./mL	1.902		238	119
		Cél./mL	43.757		5.470	2.735
	<i>Planktolyngbya sp.</i> (filamentos com até três células)	Ind./mL	178		59	NI
		Cél./mL	535		178	
	<i>Planktolyngbya limnetica</i>	Ind./mL	357		NI	NI
		Cél./mL	9.275			
Ensaio 2.2 (15/04/05)	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	Ind./mL	73.365	24.435	342	
		Cél./mL	1.100.476	366.528	5.128	
	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (filamentos com até três células)	Ind./mL	61.474	5.232	268	
		Cél./mL	184.423	15.696	803	
	<i>Planktolyngbya sp.</i>	Ind./mL	1.367	1.189	15	
		Cél./mL	31.450	27.348	342	
	<i>Planktolyngbya sp.</i> (filamentos com até três células)	Ind./mL	357	119	15	
		Cél./mL	1.070	357	45	
	<i>Planktolyngbya limnetica</i>	Ind./mL	832	119	NI	
		Cél./mL	21.641	3.092		
	Total de Cianobactérias	Ind./mL	110.998		8.621	2.497
		Cél./mL	1.122.652		71.284	23.781
	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	Ind./mL	73.365	24.435	342	
		Cél./mL	1.100.476	366.528	5.128	
	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (filamentos com até três células)	Ind./mL	61.474	5.232	268	
		Cél./mL	184.423	15.696	803	
	<i>Planktolyngbya sp.</i>	Ind./mL	1.367	1.189	15	
		Cél./mL	31.450	27.348	342	
	<i>Planktolyngbya sp.</i> (filamentos com até três células)	Ind./mL	357	119	15	
		Cél./mL	1.070	357	45	
	<i>Planktolyngbya limnetica</i>	Ind./mL	832	119	NI	
		Cél./mL	21.641	3.092		
	Total de Cianobactérias	Ind./mL	136.622	31.094	640	
		Cél./mL	1.339.952	413.021	6.318	

Pré-O₃ = Pré-Ozonizada; Pós-O₃ = Pós-Ozonizada; Ind. = Indivíduo; Cél. = Células; NI = Não Identificada

A tabela 5.5 apresenta os valores do número de espécies de cianobactérias (indivíduos e células por mililitro de água) identificadas nas amostras de água das diferentes etapas das seqüências de tratamento dos ensaios 2.3 e 2.4.

Tabela 5.5 – Contagem do número de cianobactérias nas amostras de água das diferentes etapas das seqüências de tratamento dos ensaios 2.3 e 2.4

Ensaio	Cianobactérias		Água Bruta	Água Pré-O ₃	Água Filtrada	Água Pós-O ₃
Ensaio 2.3 (19/04/05)	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	Ind./mL	63.853	26.914	89	
		Cél./mL	957.788	403.710	1.338	
	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (filamentos com até três células)	Ind./mL	88.823	10.404	594	
		Cél./mL	266.468	31.213	1.784	
	<i>Planktolyngbya sp.</i>	Ind./mL	1.784	1.070	NI	
		Cél./mL	41.023	24.614		
	<i>Planktolyngbya sp.</i> (filamentos com até três células)	Ind./mL	951	238	NI	
		Cél./mL	2.854	713		
	<i>Planktolyngbya limnetica</i>	Ind./mL	357	178	NI	
		Cél./mL	9.275	4.637		
Ensaio 2.4 (20/04/05)	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	Ind./mL	53.864		4.162	457
		Cél./mL	807.967		62.426	6.860
	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (filamentos com até três células)	Ind./mL	76.457		6.619	1.967
		Cél./mL	229.370		19.857	5.900
	<i>Planktolyngbya sp.</i>	Ind./mL	238		NI	NI
		Cél./mL	5.470			
	<i>Planktolyngbya sp.</i> (filamentos com até três células)	Ind./mL	119		NI	NI
		Cél./mL	357			
	<i>Planktolyngbya limnetica</i>	Ind./mL	357		NI	NI
		Cél./mL	9.275			
Total de Cianobactérias		Ind./mL	155.768	38.804	683	
		Cél./mL	1.277.408	464.887	3.122	
	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	Ind./mL	131.273		10.781	2.424
		Cél./mL	1.053.152		82.283	12.760
	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (filamentos com até três células)	Ind./mL	76.457		6.619	1.967
		Cél./mL	229.370		19.857	5.900
	<i>Planktolyngbya sp.</i>	Ind./mL	238		NI	NI
		Cél./mL	5.470			
	<i>Planktolyngbya sp.</i> (filamentos com até três células)	Ind./mL	119		NI	NI
		Cél./mL	357			
	<i>Planktolyngbya limnetica</i>	Ind./mL	357		NI	NI
		Cél./mL	9.275			
Total de Cianobactérias		Ind./mL	131.273		10.781	2.424
		Cél./mL	1.053.152		82.283	12.760

Pré-O₃ = Pré-Ozonizada; Pós-O₃ = Pós-Ozonizada; Ind. = Indivíduo; Cél. = Células; NI = Não Identificada

As espécies de cianobactérias presentes nas amostras da água bruta durante a realização dos ensaios foram: *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Limnothrix planctonica*, *Planktolyngbya limnetica* e *Planktolyngbya sp.*.

A espécie de cianobactéria dominante foi a *Cylindrospermopsis raciborskii*, representando mais de 95% do número total de cianobactérias nas amostras da

água bruta de todos os ensaios. Como já citado anteriormente, Laudares-Silva (1997), Mondardo (2004) e Grellmann (2006) identificaram a *Cylindrospermopsis raciborskii* como a espécie dominante do fitoplâncton da Lagoa do Peri.

O tamanho, a forma e a mobilidade das cianobactérias podem comprometer o tratamento da água, como por exemplo, obstruindo rapidamente o leito filtrante (espécies filamentosas), ou mesmo, passando pelos filtros.

As cianobactérias identificadas na água bruta são todas espécies filamentosas. Esta característica pode explicar a curta duração das carreiras verificada no filtro piloto, aproximadamente de 6 horas. Segundo Di Bernardo (2003), respeitando as condições de aplicabilidade da tecnologia, a duração de carreira na filtração direta descendente não deveria resultar inferior a 12 horas.

Mesmo com eficiência média de remoção de 92% do número de cianobactérias, a água filtrada, através somente de filtração direta, sem pré-ozonização, apresentou um elevado número de cianobactérias, em média, acima de 77.000 células/mL. Numa situação de abastecimento público, esta densidade de cianobactérias na água filtrada poderia acarretar sérios problemas por ocasião da desinfecção final, uma vez que a espécie dominante é potencialmente tóxica. A dosagem do desinfetante (oxidante) poderia ser suficiente apenas para provocar a lise celular, liberar e não oxidar a toxina, agora já dissolvida em água.

O desempenho das seqüências de tratamento investigadas em relação à remoção de cianobactérias é melhor visualizado no gráfico da figura 5.9.

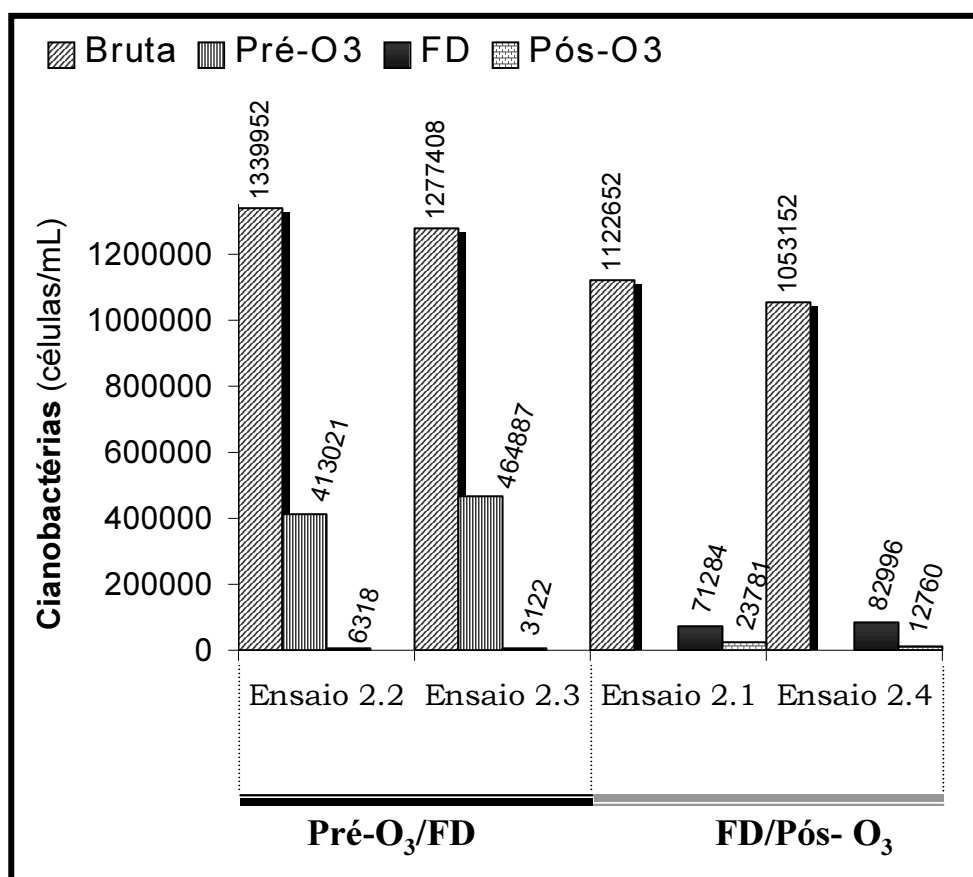


Figura 5.9 – Número de células de cianobactérias nas diferentes etapas das seqüências de tratamento investigadas – Fase 2.

A água produzida na seqüência de tratamento composta por pré-ozonização e filtração rápida descendente (filtração direta) foi a que obteve o menor valor do número de cianobactérias, em média, de 4.700 células/mL. Mesmo assim, com uma eficiência média superior a 99,6% em relação à remoção de cianobactérias, o valor de células encontrado é ainda alto e preocupante para uma condição de abastecimento público.

As dosagens de ozônio utilizadas na pós-ozonização não foram suficientes para atingir o desempenho dos ensaios com pré-ozonização. Na água resultante da seqüência de tratamento formada por filtração rápida descendente (filtração direta) e pós-ozonização observou-se uma concentração de cianobactérias quatro vezes maior do que naquela produzida na seqüência composta por pré-ozonização e filtração rápida descendente (filtração direta).

Esperava-se nesta pesquisa que a ozonização realizada numa água filtrada (pós-ozonização), com uma carga de matéria orgânica mais baixa, fosse capaz de remover as células de cianobactérias remanescentes da filtração, produzindo uma água com baixíssimos valores destes microrganismos.

5.2.2.2.3 – Remoção de saxitoxinas

Como a espécie dominante foi a *Cylindrospermopsis raciborskii*, as análises de cianotoxinas foram direcionadas para avaliação de saxitoxinas (toxinas paralisantes). Na fase experimental 2, devido à limitação de padrões cromatográficos por ocasião das análises, avaliaram-se apenas as concentrações de saxitoxina (STX) e neosaxitoxina (NEO).

Os cromatogramas e os cálculos da concentração de saxitoxinas, para as amostras de água bruta e das diferentes etapas das seqüências de tratamento investigadas, estão no apêndice B.2.4.

A tabela 5.6 apresenta os valores de concentração de neosaxitoxina e saxitoxina nas amostras coletadas nas diferentes etapas das seqüências de tratamento dos ensaios 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4.

Deve-se salientar que as amostras de água não foram concentradas para a realização das análises de saxitoxinas na fase experimental 2. As análises foram relativas à concentração total, não separando a concentração decorrente da fração intracelular, ou seja, a toxina contida no interior das células das cianobactérias, e a concentração da fração extracelular, dissolvida na água (abrangendo as duas frações).

Tabela 5.6 - Concentração dos tipos de saxitoxinas analisadas nas amostras de água das diferentes etapas das seqüências de tratamento dos ensaios da Fase 2.

Ensaio	Toxina (concentração total)		Água Bruta	Água Pré-O ₃	Água Filtrada	Água Pós-O ₃
Ensaio 2.1 (12/04/05)	NEO	(µg/L)	ND		ND	ND
		(µg/L eq. STX)				
	STX	(µg/L)	3,28		ND	ND
		(µg/L eq. STX)				
	Total µg/L eq. STX		3,28		ND	ND
Ensaio 2.2 (15/04/05)	NEO	(µg/L)	1,45	1,90	1,56	
		(µg/L eq. STX)	1,34	1,76	1,44	
	STX	(µg/L)	4,09	ND	ND	
		(µg/L eq. STX)				
	Total µg/L eq. STX		5,43	1,76	1,44	
Ensaio 2.3 (19/04/05)	NEO	(µg/L)	3,71	0,76	3,76	
		(µg/L eq. STX)	3,43	0,70	3,47	
	STX	(µg/L)	3,96	4,71	ND	
		(µg/L eq. STX)				
	Total µg/L eq. STX		7,39	5,41	3,47	
Ensaio 2.4 (20/04/05)	NEO	(µg/L)	2,36		ND	11,37
		(µg/L eq. STX)	2,18			10,51
	STX	(µg/L)	ND		ND	ND
		(µg/L eq. STX)				
	Total µg/L eq. STX		2,18		ND	10,51

Pré-O₃ = Pré-Ozonizada; Pós-O₃ = Pós-Ozonizada

NEO= neosaxitoxina; STX = saxitoxina; ND = Não Detectado

Nos ensaios que apresentaram saxitoxina na água bruta, observou-se posteriormente que a sua concentração na água tratada não foi detectada. Por outro lado, verificou-se que a neosaxitoxina encontrada na água bruta permaneceu presente na água após o tratamento completo em todos os ensaios. Este resultado pode indicar uma maior resistência da neosaxitoxina à oxidação por ozônio. Contudo, necessita-se de um maior número de ensaios para confirmação de tal

resistência da neosaxitoxina. Kaeding et al. (1999) e House et al. (2004) relataram que variantes de saxitoxina reagem diferentemente com o ozônio, sendo a saxitoxina (STX), em comparação com a C-toxinas (C) e goniautoxinas (GTX), a que mais facilmente é oxidada. Na literatura são poucos os trabalhos que fazem referência à ozonização de neosaxitoxina. No caso específico do ensaio 2.4, a alta concentração de neosaxitoxina (11,37 µg/L) detectada na água pós-ozonizada poderia ser explicada através da transformação de uma outra variante de saxitoxina, não avaliada nas análises de cromatografia líquida realizadas, em neosaxitoxina após o processo de ozonização. Na figura 5.10 pode-se verificar as concentrações de saxitoxinas (expressa em equivalentes de STX/L) nas amostras de água das diferentes etapas das seqüências de tratamento.

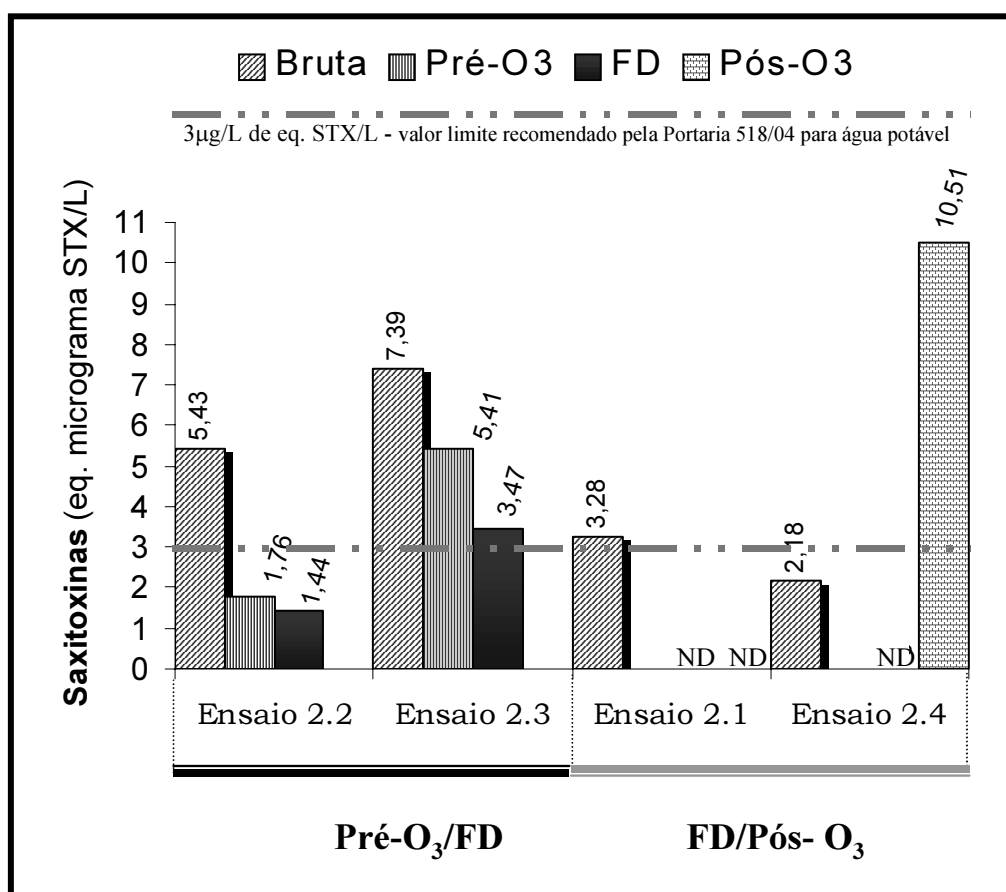


Figura 5.10 – Concentração de saxitoxinas – expressa em equivalentes de STX/L – nas diferentes etapas das seqüências de tratamento investigadas – Fase 2

A Portaria 518 do Ministério da Saúde (Brasil, 2004) recomenda, em seu artigo 14 (§1º) – padrão de substâncias químicas que representam riscos para saúde -, que as análises de cianotoxinas para água potável incluam a determinação de saxitoxinas, observando o valor limite de 3,0µg/L de equivalente de STX/L.

A seqüência de tratamento composta de pré-ozonização e filtração rápida descendente (filtração direta) não foi suficiente para a completa remoção de saxitoxinas. No ensaio 2.3 a concentração de saxitoxinas (3,47µg/L eq. de STX/L) foi superior ao valor limite recomendado pela Portaria 518. Apesar de inferior ao valor limite, a concentração de saxitoxinas na água tratada do ensaio 2.2 dever ser considerada, pois é desconhecido o efeito do consumo freqüente de baixas concentrações de saxitoxinas sobre a saúde dos seres humanos.

Analisando apenas a filtração direta (ensaios 2.1 e 2.4 - sem pré-ozonização) em relação à remoção das saxitoxinas, verificou-se que a água filtrada não apresentou concentrações detectáveis destas substâncias. Deve-se salientar que nestes ensaios os níveis de concentração de saxitoxinas na água bruta foram mais baixos do que nos ensaios realizados com pré-ozonização (ensaios 2.2 e 2.3).

Em relação à pós-ozonização, destaca-se o resultado obtido no ensaio 2.4, no qual a água filtrada, com níveis não detectados de saxitoxinas, ao ser oxidada, apresentou concentração de 10,51µg/L eq. de STX/L. A explicação para o aumento na concentração (total) de saxitoxinas, considerando que não houve falha no procedimento analítico, somente pode ser atribuída a transformações de outros tipos de saxitoxinas (não avaliadas nestas análises de CLAE) em neosaxitoxina (única variante de saxitoxina detectada na água bruta do ensaio 2.4).

5.3 – Fase experimental 3

5.3.1 – Avaliação da dosagem de ozônio a ser empregada na pré-ozonização

Para a determinação da dosagem de ozônio na pré-ozonização dos ensaios da terceira fase, e considerando-se um tempo de contato de 5 minutos, várias concentrações de ozônio foram avaliadas em relação à remoção de turbidez, cor aparente e células de cianobactérias. Os resultados destas análises são apresentados na tabela 5.7 e no apêndice C.1.

Tabela 5.7 – Valores de turbidez, cor aparente e células de cianobactérias para diferentes dosagens de ozônio utilizadas na pré-ozonização – Fase 3

Dosagem de Ozônio			Parâmetros analisados				
Transferida mgO ₃ /L	Residual mgO ₃ /L	Consumida mgO ₃ /L	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)	pH	Temperatura (°C)	Cianobactérias (Células./mL)
Bruta Lagoa do Peri	-----	-----	5,25	67	7,14	22,5	1.524.117
1,0	0,05	0,95	3,45	41	7,06	22,5	1.319.744
2,0	0,05	1,95	3,24	39	7,04	22,5	653.860
4,0	0,56	3,44	2,61	33	6,80	22,5	643.919
6,0	1,31	4,69	2,44	29	6,72	22,5	595.588
8,0	1,55	6,45	2,18	17	6,73	22,5	594.836
9,5	1,61	7,89	2,02	12	6,71	22,5	516.052

O maior efeito do aumento na dosagem de ozônio na pré-ozonização foi observado em relação à remoção da cor aparente. A concentração de 9,5mgO₃/L reduziu em mais de 80% a cor da água bruta.

Em relação à turbidez e cianobactérias, o aumento na dosagem de ozônio não resultou em aumentos significativos na remoção destes parâmetros.

A fim de avaliar a aplicação de maiores dosagens de ozônio no acondicionamento da água para a filtração direta, decidiu-se na pré-ozonização utilizar a máxima concentração de ozônio transferida possível. Tendo em conta a capacidade de produção do ozonizador e a vazão de água necessária ao sistema

piloto de filtração direta, aproximadamente de 760L/h, estabeleceu-se esta concentração em 4,5mgO₃/L.

5.3.2 – Ensaios de coagulação em jarreste

As dosagens de sulfato de alumínio inicialmente avaliadas basearam-se nos ensaios de coagulação realizados na fase experimental 2. As planilhas com os resultados obtidos nos ensaios de coagulação com a água bruta e pré-ozonizada (\cong 4,5mgO₃/L) estão no apêndice C.2. A partir desses resultados, elaboraram-se os diagramas de coagulação (sulfato de alumínio) para água bruta e pré-ozonizada, em relação à turbidez remanescente da água filtrada. A figura 5.11 apresenta o diagrama de coagulação para a água bruta.

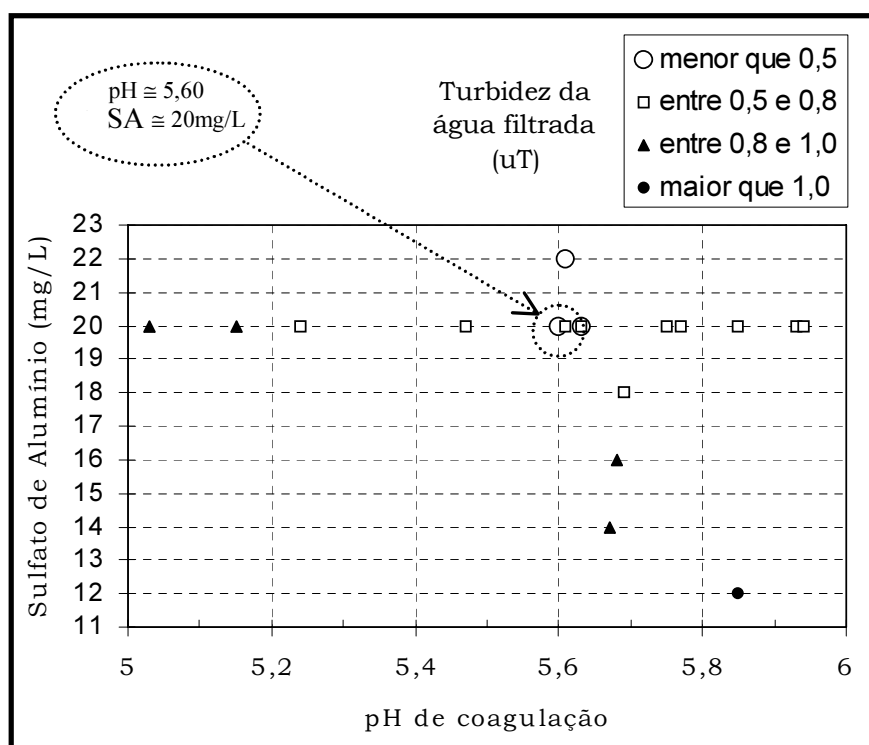


Figura 5.11 - Diagrama de coagulação do sulfato de alumínio para água bruta – Fase 3

Os melhores resultados para a água bruta, ou seja, os menores valores de turbidez da água filtrada, foram alcançados com dosagens de sulfato de alumínio

próximas de 20mg/L e pH de coagulação em torno de 5,60 (obtido com cerca de 2mg/L de cal).

Nesta fase, os diagramas de coagulação também não abrangeram uma vasta faixa de pH, restringindo-se principalmente a valores entre 4,5 e 6,5. A figura 5.12 apresenta o diagrama de coagulação (sulfato de alumínio) para a água pré-ozonizada (4,5mgO₃/L).

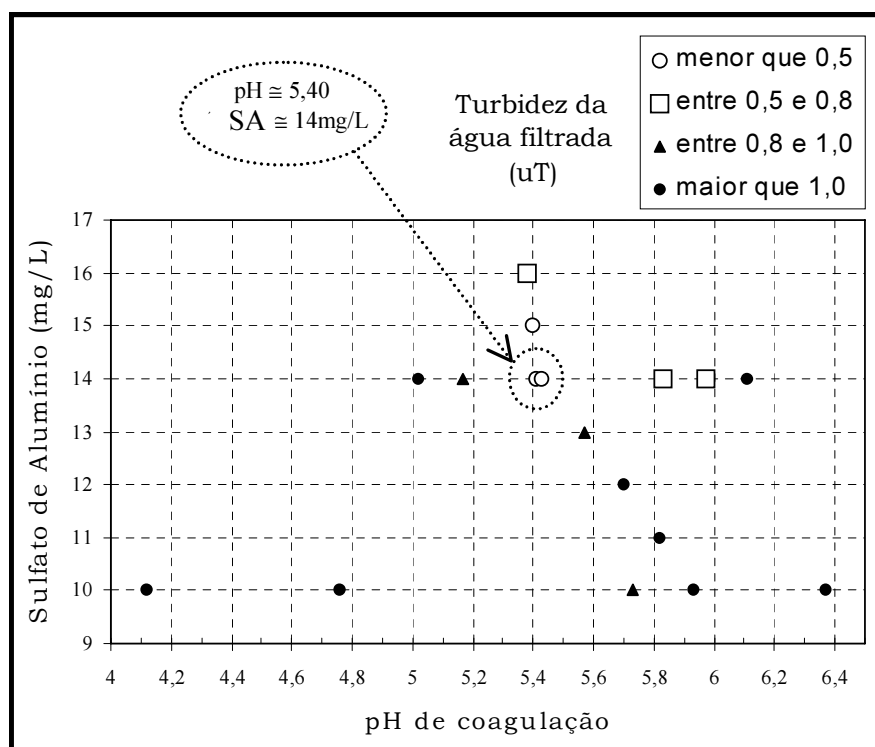


Figura 5.12 - Diagrama de coagulação do sulfato de alumínio para água pré-ozonizada – Fase 3

Para a água pré-ozonizada os melhores resultados foram alcançados com dosagens de sulfato de alumínio próximas de 14,0mg/L e pH de coagulação em torno de 5,40 (obtido sem aplicação de alcalinizante ou acidificante).

Assim, estas dosagens de coagulante, determinadas para água bruta e pré-ozonizada nos ensaios em jarreste, foram utilizadas inicialmente nas carreiras de filtração da fase 3.

5.3.3 – Ensaios no sistema piloto de filtração direta

5.3.3.1 – Qualidade da água filtrada e duração das carreiras de filtração

Nesta seção a etapa da pós-ozonização não é avaliada por não ter influência no desempenho das carreiras de filtração, mas apenas sobre a qualidade final da água produzida.

As planilhas de acompanhamento das carreiras de filtração estão no apêndice C.3.2, identificadas de C.3.1 a C.3.6. A tabela 5.8 apresenta o resumo dos resultados das carreiras de filtração da fase 3.

Tabela 5.8 – Resultado das carreiras de filtração com e sem pré-ozonização – Fase 3

Ensaio Data 2006	Água bruta			Coagulação		Água filtrada (com Pré-O ₃)		Água filtrada (sem Pré-O ₃)		Duração da carreira (h)
	pH	Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)	pH	SA Dose (mg/L)	Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)	Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)	
3.1 7/2	6,9 6,8-7,2	5,10 4,43-5,60	76 66-81	5,6 5,4-5,8	20,0	----	----	0,56 0,30-0,88	6 6-9	7,25
3.2 9/2	6,7 6,5-7,0	5,72 5,24-6,12	78 74-83	5,5 5,4-5,8	14,0	0,43 0,33-0,71	3 < 1 - 4	----	----	8,00
3.3 21/2	7,0 6,7-7,2	5,65 5,05-6,42	84 81-89	5,4 5,3-5,7	14,0	0,43 0,35-0,82	2 < 1 - 8	----	----	8,00
3.4 23/2	6,9 6,8-7,2	5,11 4,93-5,63	77 72-80	5,4 5,3-5,6	20,0	----	----	0,52 0,41-0,61	5 2-7	8,00
3.5 9/3	6,8 6,6-6,8	4,98 4,43-5,86	67 60-77	5,6 5,4-5,7	20,0 20-22	----	----	0,65 0,47-0,85	6 4-9	7,25
3.6 14/3	6,7 6,5-6,9	5,74 5,32-6,02	77 73-80	5,5 5,4-5,6	14,0	0,45 0,30-0,72	3 1 - 4	----	----	8,41

Obs: Os parâmetros de qualidade de águas são representados por valores médios e a faixa de variação (ex: 6,8 – 7,2).

< 1 = valor menor do que 1 uH

As dosagens de sulfato de alumínio nas carreiras realizadas com pré-ozonização foram de 14mg/L, o que representou uma redução de 30% no consumo de coagulante quando comparado aos 20mg/L utilizados nas carreiras sem o pré-tratamento. Esta redução poderia ser ainda maior, considerando que os valores médios de turbidez e cor aparente da água filtrada das carreiras sem pré-ozonização foram sempre maiores. A turbidez e a cor aparente da água filtrada, para as carreiras com pré-ozonização, foram, em média, de 0,44uT e 3uH, respectivamente.

Por outro lado, para os mesmos parâmetros nas carreiras sem pré-ozonização, os valores médios foram de 0,58uT e 6uH. Em relação à duração das carreiras, comparando-as duas a duas, ensaios 3.1/3.2, 3.3/3.4 e 3.5/3.6, devido à proximidade da data de execução, verifica-se que a pré-ozonização não ocasionou aumentos significativos nas carreiras de filtração. Entre os ensaios 3.3 e 3.4, não houve nenhum aumento de carreira, apresentando ambos 8 horas de duração. Nos ensaios 3.1/3.2 e 3.5/3.6, a pré-ozonização aumentou a carreira de filtração em 10 e 16% respectivamente, o que, em média, representou menos de 1 hora.

A figura 5.13 representa o desempenho das carreiras dos ensaios 3.1 e 3.2, realizadas sem e com pré-ozonização, respectivamente. Verifica-se que foi bem menor o período de tempo necessário para que o filtro produzisse a água com turbidez e cor aparente inferiores a 0,5uT e 5uH na carreira com pré-ozonização (ensaio 3.2). Os valores de turbidez da água filtrada no ensaio 3.2 (com pré-ozonização) foram cerca de 80% menores do que os valores obtidos no ensaio 3.1. A cor aparente da água filtrada na carreira com pré-ozonização foi sempre inferior à da carreira realizada sem este pré-tratamento.

Avaliando-se as curvas de perda de carga para os ensaios 3.1 e 3.2, observa-se que as taxas médias de crescimento da perda de carga foram muito semelhantes, aproximadamente de 25cm/h e 22cm/h, respectivamente. Esta pequena diferença entre as taxas de crescimento da perda de carga foi responsável também pela pequena diferença de duração entre as carreiras dos referidos ensaios, que se situou em menos de 1 hora.

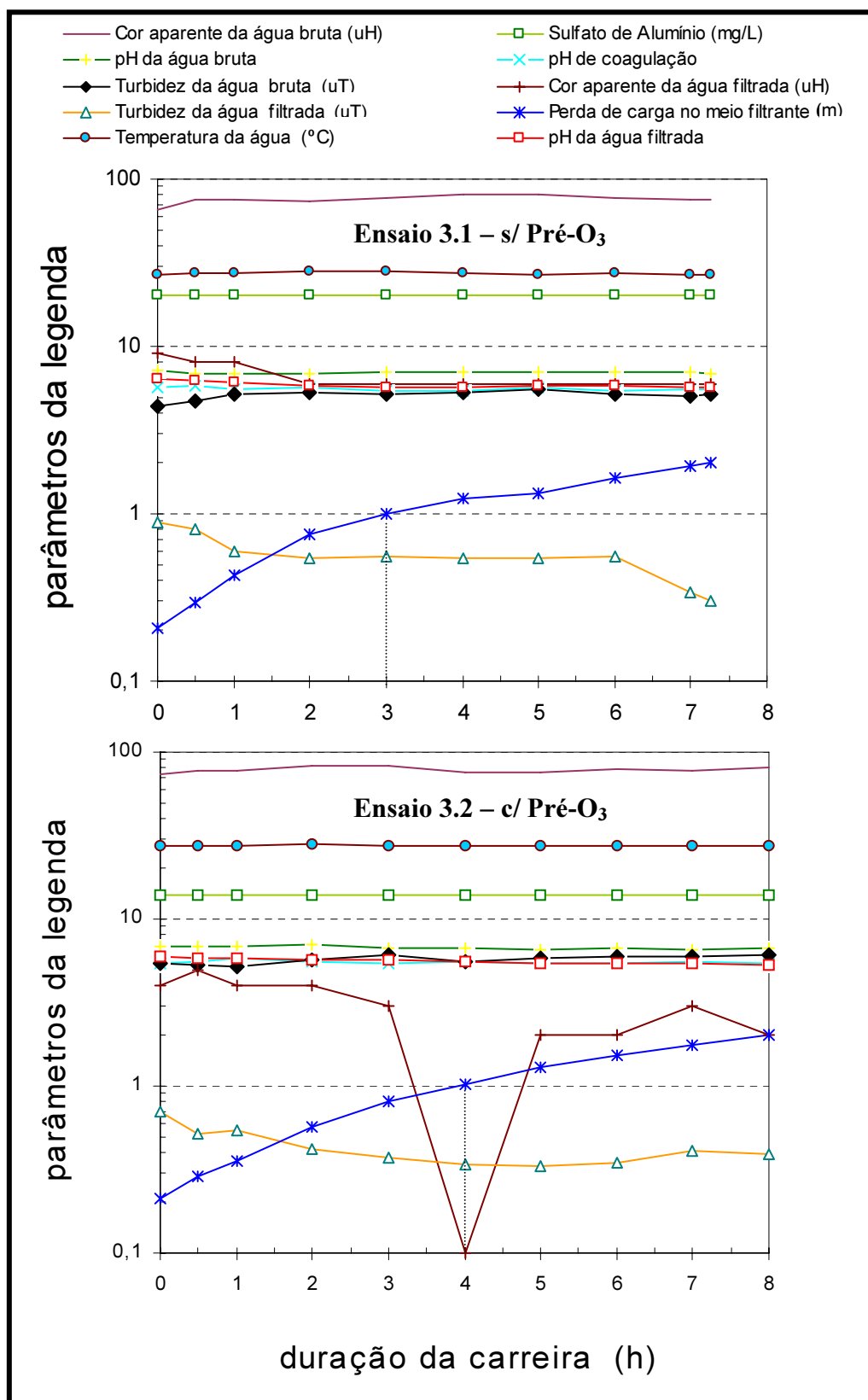


Figura 5.13 - Comparação da variação da perda de carga e qualidade da água filtrada entre carreiras realizadas sem e com pré-ozonização – Fase 3

A figura 5.14 ilustra a participação do meio filtrante na retenção de impurezas para os ensaios 3.1 (sem pré-ozonização) e 3.2 (com pré-ozonização).

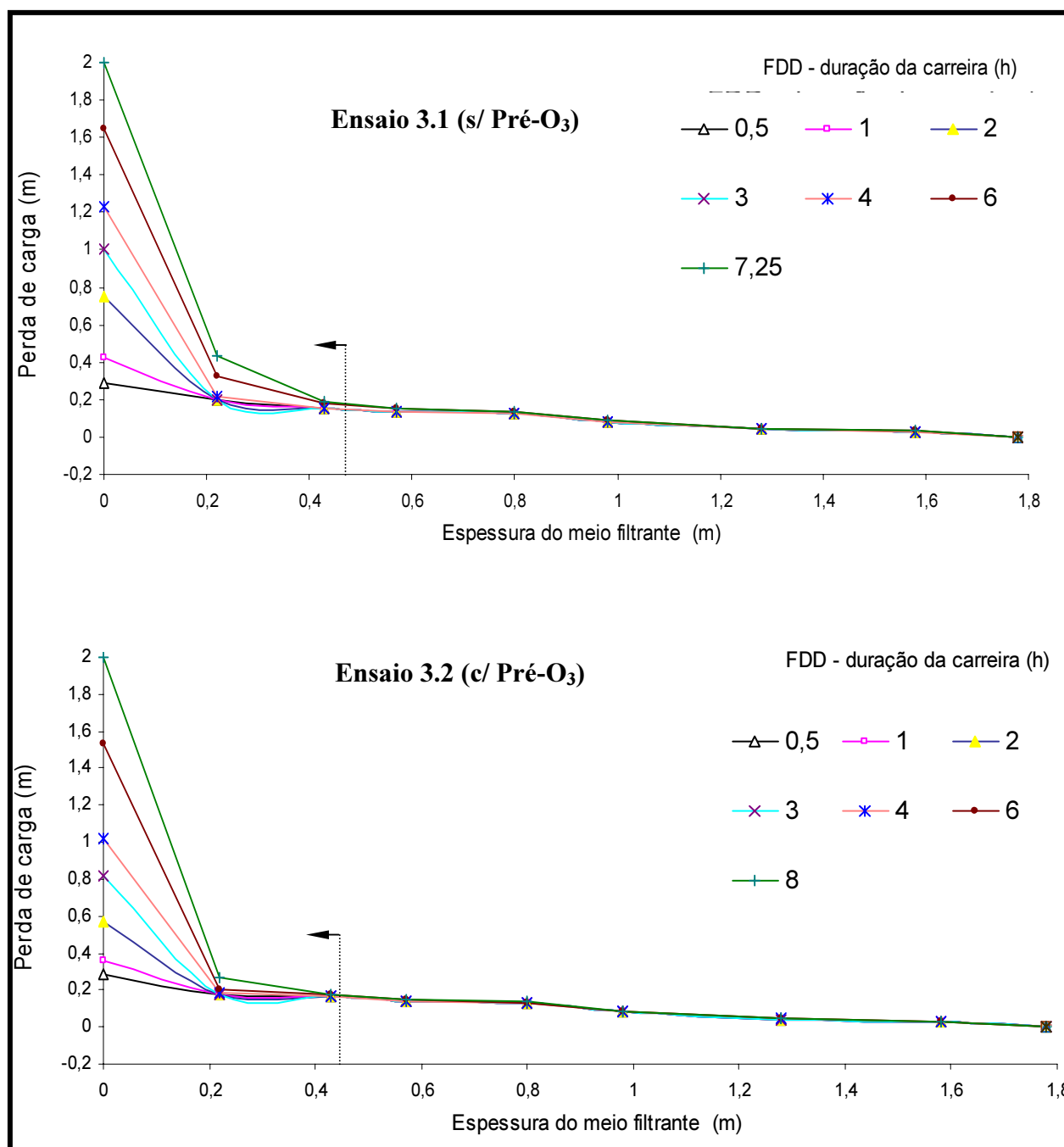


Figura 5.14 - Comparação da perda de carga no meio filtrante entre carreiras realizadas sem e com pré-ozonização – Fase 3

A participação do meio filtrante na retenção de impurezas nas carreiras com e sem pré-ozonização foi praticamente a mesma, ocorrendo nos primeiros 50 cm.

Esse comportamento ocorreu nos demais ensaios da fase 3, resultando na pequena diferença na duração das carreiras realizadas sem ou com pré-ozonização.

A pré-ozonização nos ensaios da fase 3, a exemplo dos ensaios da fase experimental 2, atuou como um auxiliar de coagulação, reduzindo a dosagem de coagulante e permitindo que o filtro produzisse água de melhor qualidade, principalmente em relação à remoção da cor aparente. Esperava-se também que, nos ensaios da fase 3, a pré-ozonização, por facilitar a coagulação e promover a formação de microflocos, favorecesse um acúmulo de sólidos mais uniforme e melhor distribuído ao longo do meio filtrante.

5.3.3.2 – Avaliação das seqüências de tratamento investigadas

Os resultados das análises da água produzida através da filtração direta descendente em composição, ou não, com a ozonização, empregada como pré ou pós-tratamento, são apresentados e comparados nesta seção.

5.3.3.2.1 – Qualidade da água produzida

As análises de qualidade da água produzida em cada etapa das seqüências de tratamento investigadas podem ser vistas nas tabelas C.3.7 e C.3.8 do apêndice C.3.3. De um modo geral, os valores das análises da água produzida na seqüência composta por pré-ozonização e filtração rápida descendente (filtração direta) são menores do que os da água produzida somente por filtração direta, ou mesmo, por filtração direta e pós-ozonização. A tabela 5.9 mostra os valores médios das análises para água bruta e produzida nas seqüências de tratamento dos ensaios 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4.

Tabela 5.9 – Resultados das análises da água bruta e produzida nas seqüências de tratamento – Fase 3

Parâmetros	Água Bruta	Água Produzida		
		Pré-O ₃ /FD	FD	FD/Pós-O ₃
Cor aparente (uH)*	80 75-86	3 < 1 - 8	5 2 - 9	3 < 1 - 7
Cor verdadeira (uH)	6 6-7	< 1	< 1	< 1
Condutividade elétrica (µS/cm)	70 64-76	78 74-82	75 73-77	77 73-81
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	35 32-38	39 37-41	37 36-38	38 36-40
Turbidez (uT)*	5,55 4,98-6,42	0,43 0,33-0,82	0,54 0,30-0,88	0,52 0,20-0,78
COT (mg/L)	8,3 7,5-9,6	1,3	3,2 2,7-3,7	1,6 1,3-1,9
Clorofila- <i>a</i> (µg/L)	30,45 24,18-37,20	4,18 3,72-4,65	6,51 5,13-7,89	4,46 3,80-5,12
Cianobactérias (ind./mL)	108.069 101.028-114.820	1.390 981-1.798	12.488 6.123-18.852	6.084 4.757-7.412

*Análises de amostras coletadas de uma e uma hora durante a carreira de filtração. Os demais parâmetros são relativos às análises de amostras coletadas quando a perda de carga do filtro atingia a 1 m de coluna d'água. Os valores separados por hífen (ex: 75-86) representam a faixa de variação do parâmetro. FD = Filtração Direta

A razão do aumento verificado na condutividade elétrica nas amostras da água produzida, em relação à água bruta, deve-se, provavelmente, ao efeito da ozonização sobre o aumento da solubilidade do coagulante e do alcalinizante, ou, simplesmente, à adição destes (caso da filtração direta sem pré-ozonização), ou ainda, ao aumento do números de partículas, porém de tamanhos menores, ocasionada por uma oxidação parcial. Este comportamento foi igualmente observado nos ensaios da fase 2.

Mesmo com uma dosagem de ozônio inferior à utilizada na pós-ozonização (6mgO₃/L), a água produzida na seqüência composta por pré-ozonização (4,5mgO₃/L) e filtração rápida descendente (filtração direta) foi de melhor qualidade, o que significa uma maior eficiência na remoção dos parâmetros avaliados. Em relação à cor aparente, turbidez, COT, clorofila-*a* e número de cianobactérias, a ozonização da água filtrada não foi suficiente para alcançar o desempenho da filtração da água pré-ozonizada.

Os resultados da fase 3 corroboraram a importância do acondicionamento da água para a aplicabilidade da tecnologia da filtração direta descendente em mananciais com elevada densidade de cianobactérias.

5.3.3.2.2 – Remoção de cianobactérias

A tabela 5.10 apresenta os valores do número de espécies de cianobactérias identificadas nas amostras de água das diferentes etapas das seqüências de tratamento dos ensaios 3.1 e 3.2.

Tabela 5.10 – Contagem do número de cianobactérias nas amostras de água das diferentes etapas das seqüências de tratamento dos ensaios 3.1 e 3.2 – Fase 3.

Ensaio	Cianobactérias		Água Bruta	Água Pré-O ₃	Água Filtrada	Água Pós-O ₃
Ensaio 3.1 (07/02/06)	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	Ind./mL	44.233		3.151	2.919
		Cél./mL	663.496		47.265	43.779
	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (filamentos com até três células)	Ind./mL	49.227		713	649
		Cél./mL	98.454		1.427	1.297
	<i>Limnothrix planctonica</i>	Ind./mL	6.594		832	476
		Cél./mL	85.720		10.820	6.183
	<i>Limnothrix planctonica</i> (filamentos com até três células)	Ind./mL	10.918		1.427	713
		Cél./mL	21.835		2.854	1.427
	<i>Planktolyngbya sp.</i>	Ind./mL	713		NI	NI
		Cél./mL	16.409			
Ensaio 3.2 (09/02/06)	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	Ind./mL	45.617	13.436	NI	
		Cél./mL	684.250	201.546		
	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (filamentos com até três células)	Ind./mL	10.939	3.351	713	
		Cél./mL	21.879	6.702	1.427	
	<i>Limnothrix planctonica</i>	Ind./mL	3.092	NI	238	
		Cél./mL	40.190		3.092	
	<i>Limnothrix planctonica</i> (filamentos com até três células)	Ind./mL	40.785	NI	30	
		Cél./mL	81.570		59	
	<i>Planktolyngbya sp.</i>	Ind./mL	595	540	NI	
		Cél./mL	13.674	12.431		
	Total de Cianobactérias	Ind./mL	111.685		6.123	4.757
		Cél./mL	885.914		62.366	52.686
		Ind./mL	101.028	17.327	981	
		Cél./mL	841.563	220.679	4.578	

Pré-O₃ = Pré-Ozonizada; Pós-O₃ = Pós-Ozonizada; Ind. = Indivíduo; Cél. = Células; NI = Não Identificada

A tabela 5.11 apresenta os valores do número de espécies de cianobactérias (indivíduos e células por mililitro de água) identificadas nas amostras de água das diferentes etapas das seqüências de tratamento dos ensaios 3.3 e 3.4.

Tabela 5.11 – Contagem do número de cianobactérias nas amostras de água das diferentes etapas das seqüências de tratamento dos ensaios 3.3 e 3.4–Fase 3

Ensaio	Cianobactérias		Água Bruta	Água Pré-O ₃	Água Filtrada	Água Pós-O ₃
Ensaio 3.3 (21/02/06)	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	Ind./mL	46.849	40.428	NI	
		Cél./mL	702.735	606.421		
	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (filamentos com até três células)	Ind./mL	23.543	7.351	1.750	
		Cél./mL	47.087	14.701	3.500	
	<i>Limnothrix planctonica</i>	Ind./mL	5.707	1.081	NI	
		Cél./mL	74.197	14.053		
	<i>Limnothrix planctonica</i> (filamentos com até três células)	Ind./mL	26.397	2.594	48	
		Cél./mL	52.794	5.189	95	
	<i>Planktolyngbya limnetica</i>	Ind./mL	713	324	NI	
		Cél./mL	18.549	8.431		
	<i>Planktolyngbya sp.</i>	Ind./mL	1.297	951	NI	
		Cél./mL	29.835	21.879		
	<i>Pseudanabaena galeata</i>	Ind./mL	238	NI	NI	
		Cél./mL	2.854			
Ensaio 3.4 (23/02/06)	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	Ind./mL	58.740		7.242	4.993
		Cél./mL	881.094		108.637	74.895
	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (filamentos com até três células)	Ind./mL	44.946		8.864	1.750
		Cél./mL	89.893		17.728	3.500
	<i>Limnothrix planctonica</i>	Ind./mL	3.675		1.081	NI
		Cél./mL	47.779		10.052	
	<i>Limnothrix planctonica</i> (filamentos com até três células)	Ind./mL	6.270		1.665	618
		Cél./mL	12.539		3.329	1.235
	<i>Planktolyngbya limnetica</i>	Ind./mL	NI		NI	NI
		Cél./mL				
	<i>Planktolyngbya sp.</i>	Ind./mL	1.189		NI	51
		Cél./mL	27.348			1.184
	<i>Pseudanabaena galeata</i>	Ind./mL	NI		NI	NI
		Cél./mL				
	Total de Cianobactérias	Ind./mL	114.820		18.852	7.412
		Cél./mL	1.058.653		139.746	80.814

Pré-O₃ = Pré-Ozonizada; Pós-O₃ = Pós-Ozonizada; Ind. = Indivíduo; Cél. = Células; NI = Não Identificada

As espécies de cianobactérias presentes nas amostras da água bruta durante a realização dos ensaios foram: *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Limnothrix planctonica*, *Planktolyngbya limnetica* e *Planktolyngbya* sp.e *Pseudanabaena galeata*.

A espécie de cianobactéria dominante foi a *Cylindrospermopsis raciborskii*, a exemplo das análises realizadas na fase experimental 2, representando mais de 80% do número total de cianobactérias nas amostras da água bruta de todos os ensaios.

As cianobactérias identificadas na água bruta são todas espécies filamentosas, o que pode explicar a curta duração das carreiras de filtração também verificada nos ensaios da fase 3, que foi de aproximadamente 7 horas.

Mesmo com eficiência média de remoção de 90% do número de cianobactérias, a água filtrada, através somente de filtração direta, sem pré-ozonização, apresentou um elevado número de cianobactérias, em média, acima de 100.000 células/mL. Como já mencionado, em caso de abastecimento público, esta densidade de cianobactérias na água filtrada poderia acarretar sérios problemas por ocasião da desinfecção final, uma vez que a espécie dominante é potencialmente tóxica. A dosagem do desinfetante (oxidante) poderia ser suficiente apenas para provocar a lise celular, liberar e não oxidar a toxina, agora já dissolvida em água.

A água produzida na sequência de tratamento composta por pré-ozonização e filtração rápida descendente (filtração direta) foi a que resultou em menor valor no número de cianobactérias, em média, de 4.086 células/mL. Mesmo assim, com uma eficiência média de 99,6% em relação à remoção de cianobactérias, o valor de células encontrado é ainda alto se se configurasse uma condição de abastecimento público.

O desempenho das sequências de tratamento investigadas em relação à remoção de cianobactérias é melhor visualizado no gráfico da figura 5.15.

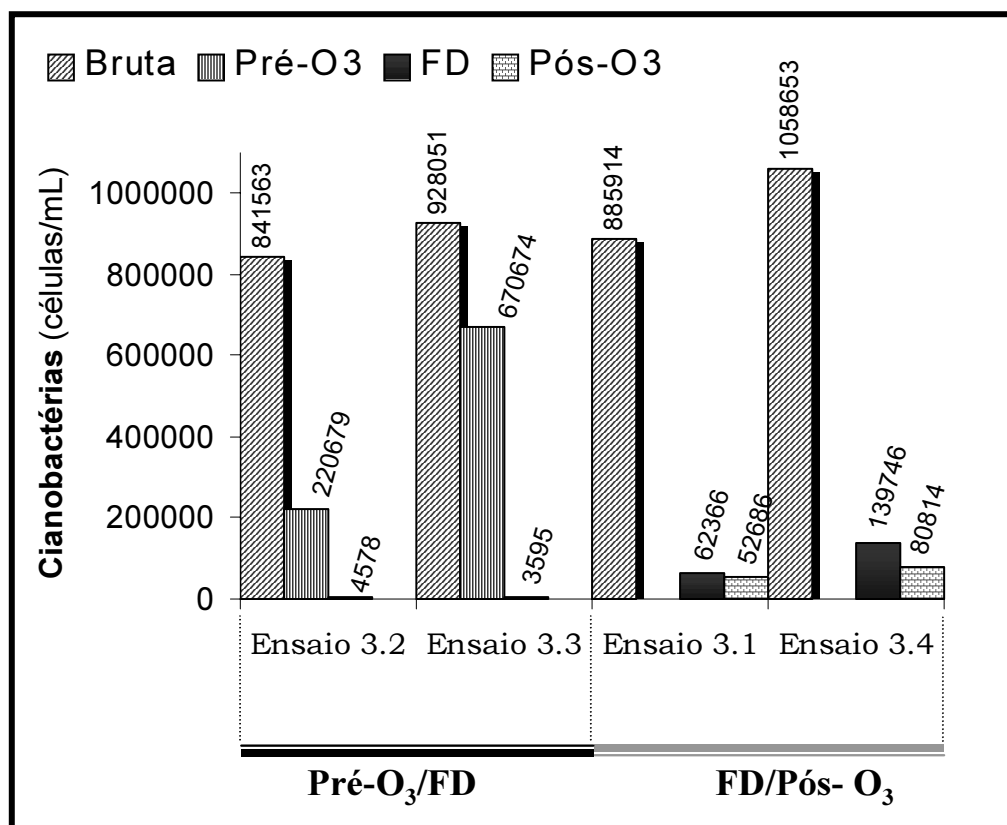


Figura 5.15 – Número de células de cianobactérias nas diferentes etapas das seqüências de tratamento investigadas – Fase 3

A portaria 518 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004) proíbe, em seu artigo 19 (§ 2º), qualquer intervenção no **manancial** que seja causa de lise das células de cianobactérias, sempre que a densidade destas exceder 20.000 células/mL, sob pena de comprometimento da avaliação de riscos à saúde associados às cianotoxinas.

Deve-se ressaltar que os valores de células de cianobactérias encontrados para **água filtrada** através da filtração direta descendente, inclusive posteriormente à pós-ozonização, foram muito superiores a 20.000 células/mL. Tal densidade, após a etapa de desinfecção, representaria um risco eminente à saúde da população abastecida.

A presença de células de cianobactérias na água produzida através da filtração direta descendente, verificada nas fases experimentais 2 e 3 desta

pesquisa, demonstram a não aplicabilidade desta tecnologia (ou a necessidade do acondicionamento da água para a sua aplicação), para o tratamento de água com elevada densidade de cianobactérias.

Nos ensaios da fase 3 esperava-se que a ozonização realizada numa água filtrada (pós-ozonização), com uma carga de matéria orgânica mais baixa, fosse capaz de remover as células de cianobactérias remanescentes da filtração e, conseqüentemente, produzisse uma água com baixíssimos valores destes microrganismos, o que não ocorreu.

5.3.3.2.3 – Remoção de saxitoxinas

As análises cromatográficas foram realizadas em relação a dez tipos de saxitoxinas: saxitoxina (STX), neosaxitoxina (NEO), decarbamoilsaxitoxina (dcSTX), goniautoxina (GTX) 1,2,3,4 e 5 e decarbamoilgoniautoxina (dcGTX) 2 e 3.

Os cromatogramas e os cálculos da concentração de saxitoxinas, para as amostras de água bruta, nas diferentes etapas das seqüências de tratamento investigadas, estão no apêndice C.3.4. Não foram detectadas concentrações de STX, NEO e dcSTX nas amostras de água bruta de qualquer ensaio.

A partir desta observação, decidiu-se não analisar a concentração destes tipos de saxitoxinas nas amostras de água das diferentes etapas das seqüências de tratamento.

As tabelas 5.12, 5.13, 5.14 e 5.15 apresentam os valores de concentração de saxitoxinas nas amostras das diferentes etapas das seqüências de tratamento dos ensaios 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4, respectivamente.

Nesta fase foram avaliadas separadamente as concentrações das frações intracelular e extracelular (dissolvida na água).

Tabela 5.12 - Concentração dos tipos de saxitoxinas analisadas nas amostras de água das diferentes etapas da sequência de tratamento do ensaio 3.1-Fase 3

Toxina		Água Bruta		Água Pré-O ₃		Água Filtrada		Água Pós-O ₃	
		I	E	I	E	I	E	I	E
GTX1	(µg/L)	0,02	ND			ND	ND	ND	ND
	(µg/L eq. STX)	0,02							
GTX2	(µg/L)	0,15	ND			0,01	ND	ND	ND
	(µg/L eq. STX)	0,05				0,00			
GTX3	(µg/L)	0,14	ND			ND	ND	ND	ND
	(µg/L eq. STX)	0,09							
GTX4	(µg/L)	1,54	ND			0,16	ND	0,05	ND
	(µg/L eq. STX)	1,12				0,12		0,04	
GTX5	(µg/L)	0,07	ND			ND	ND	ND	ND
	(µg/L eq. STX)	0,00							
dcGTX2	(µg/L)	ND	ND			ND	ND	ND	ND
	(µg/L eq. STX)								
dcGTX3	(µg/L)	ND	ND			ND	ND	ND	ND
	(µg/L eq. STX)								
STX	(µg/L)	ND	ND			-----	-----	-----	-----
	(µg/L eq. STX)								
dcSTX	(µg/L)	ND	ND			-----	-----	-----	-----
	(µg/L eq. STX)								
NEO	(µg/L)	ND	ND			-----	-----	-----	-----
	(µg/L eq. STX)								
Total µg/L eq. STX		1,28	ND			0,12	ND	0,04	ND

Pré-O₃ = Pré-Ozonizada; **Pós-O₃** = Pós-Ozonizada; **I** = Intracelular;
E = extracelular; **ND** = Não Detectado; ----- = Análise não realizada

Tabela 5.13 - Concentração dos tipos de saxitoxinas analisadas nas amostras de água das diferentes etapas da sequência de tratamento do ensaio 3.2-Fase 3

Toxina		Água Bruta		Água Pré-O ₃		Água Filtrada		Água Pós-O ₃	
		I	E	I	E	I	E	I	E
GTX1	(µg/L)	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
	(µg/L eq. STX)								
GTX2	(µg/L)	0,15	ND	ND	ND	ND	ND		
	(µg/L eq. STX)	0,05							
GTX3	(µg/L)	0,11	ND	ND	ND	ND	ND		
	(µg/L eq. STX)	0,07							
GTX4	(µg/L)	2,63	ND	0,09	ND	0,02	ND		
	(µg/L eq. STX)	1,91		0,07		0,01			
GTX5	(µg/L)	0,13	ND	ND	ND	ND	ND		
	(µg/L eq. STX)	0,01							
dcGTX2	(µg/L)	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
	(µg/L eq. STX)								
dcGTX3	(µg/L)	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
	(µg/L eq. STX)								
STX	(µg/L)	ND	ND	-----	-----	-----	-----		
	(µg/L eq. STX)								
dcSTX	(µg/L)	ND	ND	-----	-----	-----	-----		
	(µg/L eq. STX)								
NEO	(µg/L)	ND	ND	-----	-----	-----	-----		
	(µg/L eq. STX)								
Total µg/L eq. STX		2,04	ND	0,07	ND	0,01	ND		

Pré-O₃ = Pré-Ozonizada; **Pós-O₃** = Pós-Ozonizada; **I** = Intracelular;
E = extracelular; **ND** = Não Detectado; ----- = Análise não realizada

Tabela 5.14 - Concentração dos tipos de saxitoxinas analisadas nas amostras de água das diferentes etapas da sequência de tratamento do ensaio 3.3-Fase 3

Toxina		Água Bruta		Água Pré-O ₃		Água Filtrada		Água Pós-O ₃	
		I	E	I	E	I	E	I	E
GTX1	(µg/L)	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
	(µg/L eq. STX)								
GTX2	(µg/L)	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
	(µg/L eq. STX)								
GTX3	(µg/L)	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
	(µg/L eq. STX)								
GTX4	(µg/L)	3,00	ND	0,09	ND	0,03	ND		
	(µg/L eq. STX)	2,18		0,07		0,02			
GTX5	(µg/L)	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
	(µg/L eq. STX)								
dcGTX2	(µg/L)	0,03	ND	ND	ND	ND	ND		
	(µg/L eq. STX)	0,00							
dcGTX3	(µg/L)	0,09	ND	ND	ND	ND	ND		
	(µg/L eq. STX)	0,03							
STX	(µg/L)	ND	ND	-----	-----	-----	-----		
	(µg/L eq. STX)								
dcSTX	(µg/L)	ND	ND	-----	-----	-----	-----		
	(µg/L eq. STX)								
NEO	(µg/L)	ND	ND	-----	-----	-----	-----		
	(µg/L eq. STX)								
Total µg/L eq. STX		2,21	ND	0,07	ND	0,02	ND		

Pré-O₃ = Pré-Ozonizada; **Pós-O₃** = Pós-Ozonizada; **I** = Intracelular;
E = extracelular; **ND** = Não Detectado; ----- = Análise não realizada

Tabela 5.15 - Concentração dos tipos de saxitoxinas analisadas nas amostras de água das diferentes etapas da sequência de tratamento do ensaio 3.4-Fase 3

Toxina		Água Bruta		Água Pré-O ₃		Água Filtrada		Água Pós-O ₃	
		I	E	I	E	I	E	I	E
GTX1	(µg/L)	0,10	ND			ND	ND	ND	ND
	(µg/L eq. STX)	0,10							
GTX2	(µg/L)	ND	ND			ND	ND	ND	ND
	(µg/L eq. STX)								
GTX3	(µg/L)	ND	ND			ND	ND	ND	ND
	(µg/L eq. STX)								
GTX4	(µg/L)	2,16	ND			0,06	ND	0,04	ND
	(µg/L eq. STX)	1,57				0,04		0,03	
GTX5	(µg/L)	ND	ND			ND	ND	ND	ND
	(µg/L eq. STX)								
dcGTX2	(µg/L)	0,05	ND			ND	ND	ND	ND
	(µg/L eq. STX)	0,01							
dcGTX3	(µg/L)	0,11	ND			ND	ND	ND	ND
	(µg/L eq. STX)	0,04							
STX	(µg/L)	ND	ND			-----	-----	-----	-----
	(µg/L eq. STX)								
dcSTX	(µg/L)	ND	ND			-----	-----	-----	-----
	(µg/L eq. STX)								
NEO	(µg/L)	ND	ND			-----	-----	-----	-----
	(µg/L eq. STX)								
Total µg/L eq. STX		1,72	ND			0,04	ND	0,03	ND

Pré-O₃ = Pré-Ozonizada; **Pós-O₃** = Pós-Ozonizada; **I** = Intracelular;
E = extracelular; **ND** = Não Detectado; ----- = Análise não realizada

Das variantes de saxitoxina avaliadas somente a goniatoxina 4 (GTX4) foi detectada em todas as amostras de água bruta dos ensaios realizados. A GTX4 foi também a que sempre apresentou os maiores valores de concentração a saber: 1,54µg/L (ensaio 3.1), 2,63µg/L (ensaio 3.2), 3,0µg/L (ensaio 3.3), 2,16µg/L (ensaio 3.4). Por esta razão, provavelmente, em todos os ensaios a GTX4 foi a única variante de saxitoxina detectada nas amostras de água de todas as etapas das seqüências de tratamento. Para as demais variantes de saxitoxina detectadas, as concentrações na água bruta não ultrapassaram 0,15µg/L e somente a goniatoxina 2 (GTX2) foi detectada na água filtrada.

Convém salientar que as concentrações de saxitoxinas detectadas foram relativas à fração intracelular, ou seja, a toxina contida no interior das células das cianobactérias. A fração extracelular, ou seja, dissolvida na água, não foi detectada em nenhuma amostra. Este resultado deve-se provavelmente aos baixos níveis de concentração total de saxitoxinas (frações intra e extracelular em conjunto) presentes nas águas da Lagoa do Peri. A concentração da fração dissolvida em água (extracelular) é normalmente bem inferior à fração intracelular. Para a detecção de traços de saxitoxinas através da metodologia aqui utilizada seriam necessárias a concentração e a purificação das amostras.

Os valores de concentração de saxitoxinas na água bruta e tratada foram muito baixos para uma análise da eficiência de remoção das composições de tratamento investigadas.

Na figura 5.16 pode-se observar as concentrações de saxitoxinas (expressa em equivalentes de STX/L) nas amostras de água das diferentes etapas das seqüências de tratamento investigadas.

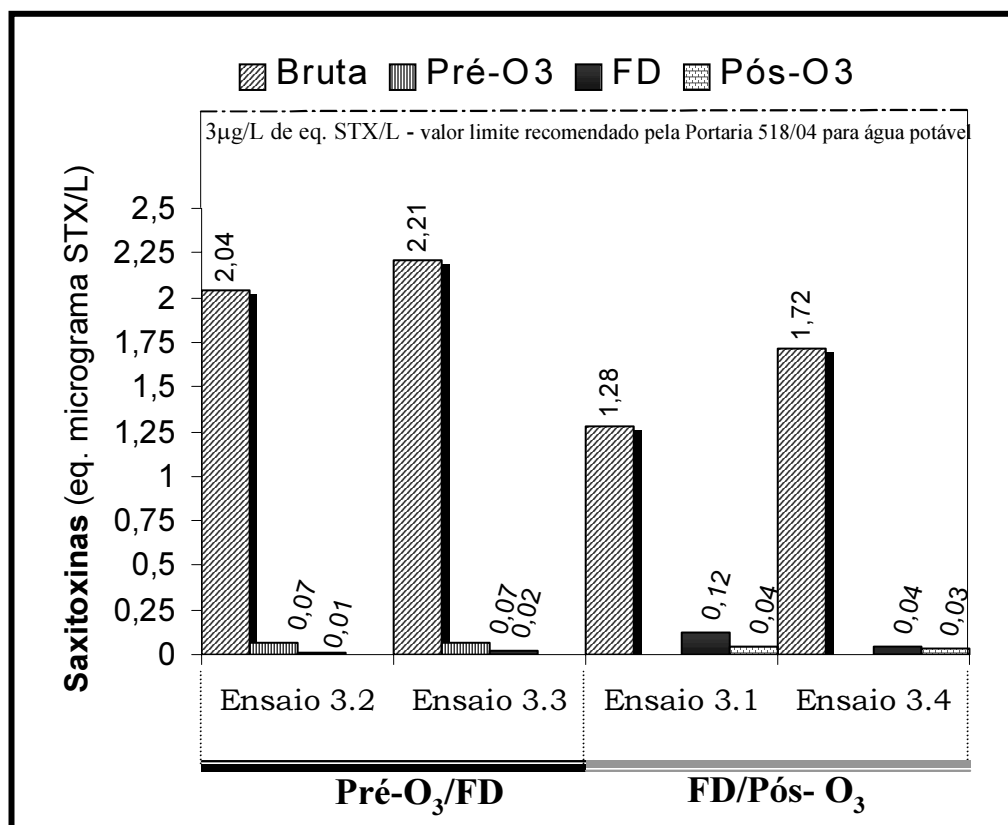


Figura 5.16 – Concentração de saxitoxinas – expressa em equivalentes de STX/L – nas diferentes etapas das seqüências de tratamento investigadas – Fase 3

Em todas as amostras de água, bruta ou tratada, a concentração de saxitoxinas observadas esteve abaixo do valor máximo permitido por lei na água potável (3,0µg eq. STX/L). Vide recomendação da Portaria nº 518 do Ministério da Saúde.

Mesmo considerando que as concentrações de saxitoxinas na água bruta foram muito baixas para uma análise da eficiência de remoção das composições de tratamento, percebe-se que os valores da concentração de saxitoxinas nas amostras de água filtrada do processo composto por pré-ozonização e filtração rápida descendente (filtração direta) foram mais baixos do que os da filtração direta, seguida, ou não, de pós-ozonização.

5.4 – Comparação entre os resultados das três fases experimentais

5.4.1 – Duração das carreiras de filtração e qualidade da água produzida

A tabela 5.16 apresenta o resumo das condições operacionais, a duração das carreiras de filtração e os valores médios de turbidez e cor aparente da água produzida nas seqüências de tratamento dos ensaios realizados nas três fases experimentais.

Tabela 5.16 - Condições operacionais empregadas e qualidade da água produzida nas seqüências de tratamento das três fases experimentais da pesquisa

Condições empregadas/ Valores dos ensaios	Fase experimental 1			Fase experimental 2			Fase experimental 3		
	Seqüência de Tratamento								
	FD	O ₃ /FD	FD/O ₃	FD	O ₃ /FD	FD/O ₃	FD	O ₃ /FD	FD/O ₃
Concentrações de ozônio transferida e residual/tempo de contato no reator	----- ----- -----	1,0mg/L ----- 2,3min		----- ----- -----	2,0mg/L 0,2mg/L 2,2min	1,0mg/L 0,5mg/L 2,2min	----- ----- -----	4,5mg/L 0,5mg/L 5,0min	6,0mg/L 1,0mg/L 5,5min
Tipo do meio filtrante	meio L1	meio L1		meio L2	meio L2	meio L2	meio L2	meio L2	meio L2
Composição	antracito	antracito		atracito/ areia	atracito/ areia	atracito/ areia	atracito/ areia	atracito/ areia	atracito/ areia
Espessura total (cm)	143	143		120	120	120	120	120	120
Diâmetro efetivo dos grãos (mm)	Ø2,5	Ø2,5		Ø1,1	Ø1,1	Ø1,1	Ø1,1	Ø1,1	Ø1,1
Coagulante empregado	HCA	HCA		SA	SA	SA	SA	SA	SA
Dosagem (mg/L)	14	22		18,5- 20,5	9-12	18,5- 20,5	20-22	14	20-22
Duração das carreiras de filtração (Horas)	13,33 11,42 15,50	20,20 15,16 21,33		5,98 5,92	7,00 8,25	5,98 5,92	7,25 8,00 7,25	8,00 8,00 8,41	7,25 8,00 7,25
Qualidade da água produzida									
Turbidez – média do ensaio – (uT)	0,51	0,49		0,58	0,36	0,48	0,56	0,43	0,50
	0,48	0,24		0,50	0,49	0,44	0,52	0,43	0,49
	0,45	0,37					0,65	0,45	0,56
% de amostras < 0,5uT	60	70		38	88	75	20	90	70
	85	100		62	70	88	50	80	70
	100	88					33	80	55
Cor aparente média do ensaio (uH)	6	4		4	2	3	6	3	3
	7	1		6	1	4	5	2	4
	4	1					6	3	3
% de amostras < 5uH	53	80		12	88	63	0	100	70
	14	100		38	100	100	50	90	60
	72	100					44	100	77

FD = Filtração Direta; O₃/FD = Pré-ozonização e Filtração Direta; FD/O₃= Filtração Direta e Pós-ozonização

* Os meios filtrantes L1 e L2 estão descritos no capítulo referente à metodologia

Ressalta-se que a sequência composta por filtração rápida descendente (filtração direta) seguida de pós-ozonização não foi investigada na fase experimental 1. Merecem também atenção o tipo de coagulante e a composição do meio filtrante empregados na fase 1. Os ensaios da fase experimental 1 foram realizados com hidroxiclreto de alumínio (HCA) e com o filtro descendente composto por camada única de antracito (meio L1 - Ø 2,5mm). Já os ensaios da fase 2 e 3 foram realizados com sulfato de alumínio (SA) e o filtro descendente formado por camada dupla de antracito (Ø 1,1mm) e areia (meio L2). Estas diferenças entre a fase 1 e as fases 2 e 3 são devidas às condições empregadas em outros ensaios que decorriam simultaneamente no mesmo sistema piloto durante a realização da fase experimental 1.

Independentemente do tipo de coagulante, hidroxiclreto de alumínio (HCA) ou sulfato de alumínio (SA), a realização da pré-ozonização, em todas as fases experimentais, reduziu a dosagem de coagulante utilizada na filtração direta descendente. As dosagens de HCA utilizadas nas carreiras realizadas sem pré-ozonização foram de 22mg/L, o que representa uma redução de 36% no consumo de coagulante em comparação com os 14mg/L utilizados nas carreiras realizadas com pré-ozonização nos ensaios da fase 1. Verificou-se também uma redução nas dosagens de SA utilizadas nas outras fases da pesquisa, redução esta que chegou até 56% (20,5mg/L – 9mg/L) em alguns ensaios da fase 2.

Di Matteo (1992) descreve vários experimentos nos quais os autores observaram decréscimos nas dosagens de coagulante devidos à pré-ozonização. As faixas de redução de coagulante observadas nestes experimentos variaram entre 13 e 50%.

Observou-se que o efeito da pré-ozonização em relação à duração das carreiras de filtração foi mais pronunciado nos ensaios realizados na fase 1. Na fase experimental 1, as carreiras tiveram aumentos de até 52%, o que corresponde, em

média, a um prolongamento de 5 horas na carreira de filtração. Convém salientar que, numa estação de tratamento de água, tal desempenho da pré-ozonização reduziria, por exemplo, o número das freqüentes interrupções provocadas pela lavagem dos filtros.

Na fase experimental 3 o aumento na duração das carreiras devido ao emprego da pré-ozonização foi irrelevante, alcançando em média 9%, o que, em termos de tempo, correspondeu a menos de 40 minutos.

Observou-se também que a duração das carreiras de filtração dos ensaios da fase 1, as quais utilizaram hidroxiclreto de alumínio e o meio filtrante L1 (camada única de antracito - Ø 2,5mm), foi mais longa do que a das carreiras das demais fases experimentais. As carreiras da fase 1 realizadas sem pré-ozonização atingiram períodos de 11, 13 e 15 horas. Por outro lado, as carreiras das fases 2 e 3, as quais utilizaram sulfato de alumínio e o meio filtrante L2 (camada dupla de antracito - Ø 1,1mm – e areia), mesmo quando realizadas com pré-ozonização, atingiram pouco mais de 8 horas. A diferença é ainda maior quando a comparação envolve as carreiras das fases 2 e 3 realizadas sem pré-ozonização, as quais atingiram, em média, pouco mais de 6 horas. Comparando-se os resultados, verifica-se que a mudança simultânea do tipo de coagulante e da composição do meio filtrante teve um efeito sobre a duração das carreiras de filtração superior ao provocado pela pré-ozonização. Enquanto a modificação no tipo de coagulante e no meio filtrante foi responsável por um aumento médio de 95% nas carreiras de filtração, o aumento devido à pré-ozonização não ultrapassou os 15%.

Era esperado que a pré-ozonização promovesse, em todas as fases experimentais, uma distribuição homogênea das impurezas através de todas as camadas do meio filtrante. Este fenômeno, porém, foi observado apenas nos ensaios da fase 1, provavelmente porque só aqui foi utilizada uma maior granulometria do

meio filtrante. Compare-se: fase L1 – camada de antracito - \varnothing 2,5mm; fases L2 e L3 – camada de antracito - \varnothing 1,1mm.

Em relação à qualidade da água produzida, avaliada em termos de turbidez e cor aparente remanescentes, a seqüência composta por ozonização e filtração rápida descendente (pré-ozonização/filtração direta) apresentou os melhores resultados em todas as fases experimentais. Os valores médios de turbidez e cor aparente na água produzida nos ensaios com pré-ozonização foram menores do que os da água produzida apenas por filtração direta, mesmo com pós-ozonização. Em todas as fases experimentais a ozonização da água filtrada (pós-ozonização) não foi suficiente para reduzir os valores de turbidez e, principalmente, cor aparente, a níveis inferiores aos obtidos pela filtração da água ozonizada (pré-ozonização).

Dois outros aspectos mostraram-se também favoráveis ao emprego da pré-ozonização em todas as fases experimentais. O primeiro foi a maior freqüência de valores inferiores aos limites estabelecidos de turbidez e cor aparente remanescentes para as carreiras de filtração (0,5uT e 5uH). E o segundo foi o menor tempo necessário para que a água filtrada atingisse valores abaixo destes limites.

Uma avaliação precisa das dosagens de ozônio utilizado na pré e na pós ozonização foi possível apenas nos ensaios das fases experimentais 2 e 3, uma vez que nestas fases foram utilizados os mesmos coagulantes e meios filtrantes. Nos ensaios da fase 2 utilizaram-se doses de 2,0mgO₃/L (na pré-ozonização) e 1,0mgO₃/L (na pós-ozonização) e nos da fase 3, 4,5mgO₃/L (na pré-ozonização) e 6,0mgO₃/L (na pós-ozonização). Os ensaios da fase 2, apesar de terem sido realizados com concentrações de ozônio menores, tanto na pré como na pós-ozonização, produziram, em termos de turbidez, cor aparente, clorofila-*a* e densidade de cianobactérias, uma água com qualidade ligeiramente melhor à da fase 3. Curiosamente, a menor dosagem de ozônio utilizada na pré-ozonização dos ensaios da fase 2 foi responsável pelos maiores prolongamentos das carreiras de

filtração. O aumento das carreiras se situou em torno de 28% para a fase 2 e em cerca de 9% para a fase 3. De qualquer modo, o número de ensaios realizados é insuficiente para se poder afirmar de maneira inequívoca que os 2,0mgO₃/L empregados na pré-ozonização da fase 2 tenham sido mais eficientes do que os 4,5mgO₃/L utilizados na pré-ozonização da fase 3.

De um modo geral, a pré-ozonização aumentou, em todas as fases experimentais, a duração das carreiras de filtração e a qualidade da água produzida na filtração direta descendente. Os resultados também demonstraram, de modo particular, a importância do acondicionamento da água da Lagoa do Peri para a aplicabilidade da tecnologia da filtração direta descendente. Ressalte-se que as águas da Lagoa do Peri já foram avaliadas por Dalsasso (2005) em relação a alguns parâmetros considerados limitantes para o tratamento de água através da filtração direta descendente. O autor considera que a alta densidade de fitoplâncton encontrada na Lagoa do Peri determina a necessidade da realização de pré-tratamento para que essa tecnologia possa ser empregada com eficiência.

5.4.2 – Remoção de cianobactérias e saxitoxinas

Nesta seção são avaliados somente os resultados dos ensaios realizados nas fases experimentais 2 e 3.

As espécies de cianobactérias observadas nas amostras da água bruta nas duas fases experimentais foram praticamente as mesmas. A única exceção foi a *Pseudanabaena galeata*, encontrada apenas na fase experimental 3. A espécie dominante em ambas as fases foi a *Cylindrospermopsis raciborskii*, representando mais de 80% das cianobactérias na água bruta dos ensaios da fase 2 e mais de 90% dos ensaios da fase 3.

A tabela 5.17 apresenta o resumo dos resultados de remoção de cianobactérias e saxitoxinas nas seqüências de tratamento dos ensaios realizados nas fases experimentais 2 e 3.

Tabela 5.17 - Resumo dos resultados de remoção de cianobactérias e saxitoxinas das fases experimentais 2 e 3.

das fases experimentais 2 e 3.

Valores dos ensaios	Fase experimental 2			Fase experimental 3		
	Seqüência de Tratamento					
	FD	O ₃ /FD	FD/O ₃	FD	O ₃ /FD	FD/O ₃
<u>Cianobactérias</u> (células/mL)						
Água bruta	1.122.652	1.339.952	1.122.652	885.914	841.563	885.914
	1.053.152	1.277.408	1.053.152	1.058.653	928.051	1.058.653
Água produzida	71.284	6.318	23.781	62.366	4.578	52.686
	82.283	3.122	12.760	139.746	3.595	80.814
% Remoção	93,6	99,5	97,9	93,0	99,5	94,1
	92,2	99,8	98,8	86,8	99,6	92,4
<u>Saxitoxinas</u> (µg/L eq. STX)						
Água bruta	3,28	5,43	3,28	1,28	2,04	1,28
	2,18	7,39	2,18	1,72	2,21	1,72
Água produzida	ND	1,44	ND	0,12	0,01	0,04
	ND	3,47	10,51	0,04	0,02	0,03
% Remoção	100	73,5	100	90,6	99,5	96,9
	100	53,0	NR	97,7	99,1	98,3

FD = Filtração Direta; O₃/FD = Pré-ozonização e Filtração Direta; FD/O₃= Filtração Direta e Pós-ozonização

ND = Não detectado; NR = Não houve remoção

Em relação à remoção das células de cianobactérias, os melhores desempenhos verificados nas duas fases experimentais foram obtidos com a seqüência composta por pré-ozonização e filtração rápida descendente (filtração direta). A média de remoção de cianobactérias nesta seqüência de tratamento foi de 99,6% para ambas as fases.

A densidade de cianobactérias ainda presente na água filtrada sem a pré-ozonização, apenas com filtração direta, foi elevada; em média, de 76.000 células/mL na fase 2 e de 101.000 células/mL na fase 3. Os resultados obtidos demonstram a não aplicabilidade da tecnologia da filtração direta descendente no

tratamento de água com elevada densidade de cianobactérias. Quando muito, a sua aplicação poderia ser considerada apenas depois de um pré-tratamento da água.

A ozonização da água filtrada (pós-ozonização), mesmo com a dosagem de $6,0\text{mgO}_3/\text{L}$ empregada nos ensaios da fase 3, não foi suficiente para atingir o desempenho semelhante ao verificado nos ensaios realizados com a seqüência de tratamento composta por pré-ozonização e filtração rápida descendente.

Em ambas as fases experimentais, na água produzida pela seqüência composta por filtração rápida descendente (filtração direta) e pós-ozonização, foi observada uma densidade de cianobactérias ainda muito elevada, em média de 18.270 células/mL na fase 2 e de 66.750 células/mL na fase 3.

As dosagens mais elevadas de ozônio nos ensaios da fase experimental 3, tanto na pré-ozonização ($4,5\text{mgO}_3/\text{L}$) quanto na pós-ozonização ($6,0\text{mgO}_3/\text{L}$), não resultaram num aumento de eficiência na remoção de cianobactérias. Pelo contrário, as doses utilizadas nos ensaios da fase 2, $2,0\text{mgO}_3/\text{L}$ (na pré-ozonização) e $1,0\text{mgO}_3/\text{L}$ (na pós-ozonização) foram mais eficazes.

De um modo geral, considerando-se os ensaios de ambas as fases, a água produzida através da filtração direta descendente com pré ou pós-ozonização ainda apresentou números elevados de cianobactérias. Sabendo-se que a espécie dominante é potencialmente tóxica, as altas densidades de cianobactérias encontradas na água representariam, numa situação de abastecimento público, um grave risco para saúde da população.

Em relação às análises de saxitoxinas (“toxinas paralisantes”), deve-se recordar que na fase 2, devido à limitação de padrões cromatográficos, avaliaram-se apenas as concentrações de saxitoxina (STX) e neosaxitoxina (NEO). Já na fase 3, as análises cromatográficas foram realizadas em relação a dez tipos de saxitoxinas, a saber: saxitoxina (STX), neosaxitoxina (NEO), decarbamoilsaxitoxina (dcSTX), goniattoxina (GTX) 1,2,3,4 e 5 e decarbamoilgoniattoxina (dcGTX) 2 e 3.

Nas amostras de água bruta dos ensaios da fase 2 foram detectadas concentrações de saxitoxina e neosaxitoxina de, em média, 3,7 e 2,5µg/L, respectivamente. A presença de saxitoxina e neosaxitoxina não foi detectada nas amostras da água bruta dos ensaios da fase experimental 3. Porém, foram detectadas concentrações de goniatóxina 1,2,3,4 e 5 e decarbamoilsaxitoxina 2 e 3. Os valores médios de concentração na água bruta para estas variantes de saxitoxina foram de 0,06µg/L (GTX1), 0,15µg/L (GTX2), 0,12µg/L (GTX3), 2,33µg/L (GTX4), 0,1µg/L (GTX5), 0,04µg/L (dcGTX2) e 0,1µg/L (dcGTX3).

Análises de saxitoxinas realizadas por Grellmann (2006) nas águas da Lagoa do Peri, durante o ano 2005, mostram concentrações entre 0,17 e 0,26µg/L de goniatóxina 5 (GTX5), 0,02 e 0,04µg/L de goniatóxina 3 (GTX3) e 0,01µg/L neosaxitoxina (NEO). A autora, contudo, não verificou nenhuma relação direta entre a biomassa de *Cylindrospermopsis raciborskii* e o nível de concentração de saxitoxinas.

As concentrações de saxitoxinas foram avaliadas em cada etapa das seqüências de tratamento dos ensaios de ambas as fases experimentais. Verificou-se, nos ensaios da fase 3, mais coerência entre os valores de concentração obtidos em cada etapa. Este fato poderia ser explicado, por um lado, porque dosagens mais elevadas de ozônio mostraram-se apropriadas à oxidação das saxitoxinas, o que, talvez, não tenha ocorrido na fase 2, cujos ensaios utilizaram menores dosagens de ozônio que se mostraram ineficazes para oxidação das saxitoxinas. Por outro lado, poder-se-ia conjecturar a necessidade de se concentrar as amostras de água tratada para as análises em cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). As amostras da fase experimental 3 foram concentradas e purificadas, enquanto na fase 2, as amostras não foram concentradas. A ausência da concentração das amostras poderia ter resultado em valores imprecisos nas análises de saxitoxinas.

Alguns ensaios da fase 2 apresentaram resultados surpreendentes quanto à concentração de saxitoxinas nas etapas de tratamento. Nestes ensaios, após a etapa da ozonização, independentemente de ter sido empregada como pré ou pós-tratamento, e tendo em conta a concentração de saxitoxina e neosaxitoxina, observou-se um aumento na concentração num dos tipos de saxitoxinas e, simultaneamente, uma redução no outro tipo. O resultado obtido pode indicar que a dosagem de ozônio não tenha sido suficiente para oxidar completamente uma das toxinas, mas apenas para modificar a estrutura química, transformando-a de um tipo de toxina em outro. Este fenômeno de “oxidação incompleta” explicaria porque, em alguns ensaios, diminuiu a concentração de saxitoxina e aumentou a concentração de neosaxitoxina, e vice-versa. Para a comprovação de tal hipótese, fazem-se necessários estudos mais específicos para determinar a resistência das diferentes estruturas químicas das saxitoxinas à ozonização. De acordo com House et al. (2004), as variantes de saxitoxinas mais resistentes à ozonização são aquelas que apresentam estruturas mais “fechadas”, com menos ligações, ou seja, com menos pontos vulneráveis ao “ataque” do ozônio.

Em relação à avaliação da remoção das saxitoxinas, deve-se considerar que a concentração destas cianotoxinas nas amostras de água bruta foi muito baixa em ambas as fases experimentais. Este fato contribuiu para que as concentrações na água tratada estivessem muito próximas do limite de detecção do método de análise, o que prejudicou consideravelmente a avaliação da eficácia das seqüências de tratamento. Mesmo assim, avaliando-se as seqüências de tratamento da fase 3, nas quais as análises de saxitoxinas foram mais precisas, observa-se que a composição formada por pré-ozonização e filtração rápida descendente (filtração direta) foi mais eficiente.

Convertendo-se as concentrações de saxitoxinas em equivalentes de saxitoxina, verificou-se que a água produzida em todas as seqüências de

tratamento apresentou valores abaixo do limite recomendado pela portaria 518 do Ministério da Saúde (Brasil, 2004) para a água potável, ou seja, 3,0µg/L eq. STX. Apesar de inferiores ao valor limite, as concentrações de saxitoxinas nas amostras de água para os ensaios da fase experimental 3 não podem ser desconsideradas, pois permanece por esclarecer o efeito do consumo a longo prazo de baixas concentrações de saxitoxinas sobre a saúde dos seres humanos.

6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstraram que, independentemente do tipo de coagulante, hidroxiclreto de alumínio ou sulfato de alumínio, a realização da pré-ozonização possibilitou reduzir a dosagem de coagulante utilizado na filtração direta descendente. A dosagem de hidroxiclreto de alumínio chegou a alcançar uma redução próxima dos 36% e a de sulfato de alumínio foi reduzida em até 56%.

Além de ter um efeito positivo sobre a redução da quantidade de coagulante, a pré-ozonização promoveu ainda um aumento da duração das carreiras de filtração. O prolongamento das carreiras devido à pré-ozonização foi mais pronunciado nos ensaios que utilizaram hidroxiclreto de alumínio e meio filtrante de antracito com maior diâmetro efetivo. Este coagulante e a maior granulometria do antracito utilizados simultaneamente tiveram um efeito sobre a duração das carreiras de filtração superior ao provocado pela pré-ozonização. Como se verificou, a modificação no tipo de coagulante e no meio filtrante foi responsável por um aumento médio de 95% nas carreiras de filtração, enquanto o aumento devido à pré-ozonização não ultrapassou os 15%.

A pré-ozonização auxiliou a coagulação, reduziu a dosagem de coagulante necessária, prolongou as carreiras de filtração e produziu uma água de melhor qualidade. A ozonização da água filtrada (pós-ozonização) não mostrou ser capaz de reduzir os valores de turbidez e, principalmente, da cor aparente a níveis inferiores aos obtidos pela filtração da água ozonizada (pré-ozonização). A pré-ozonização também reduziu o período de amadurecimento do filtro, ou seja, o tempo necessário para que o filtro produzisse água com valores aceitáveis de turbidez e cor aparente, cujos valores para a pesquisa foram estabelecidos em 0,5uT e 5uH, respectivamente.

Em relação à remoção das células de cianobactérias, os resultados obtidos demonstraram a não aplicabilidade da tecnologia da filtração direta descendente no

tratamento de água com elevada densidade destes microrganismos. A densidade de cianobactérias remanescente na água filtrada foi elevada, situando-se em torno de 88.000 células/mL. Esta alta densidade de cianobactérias na água filtrada poderia, em caso de um abastecimento público, por exemplo, ser causa de sérios problemas por ocasião da desinfecção final, uma vez que a espécie dominante, *Cylindrospermopsis raciborskii*, é potencialmente tóxica.

O melhor desempenho na remoção de cianobactérias foi obtido com a seqüência composta por pré-ozonização e filtração rápida descendente (filtração direta). A remoção média de cianobactérias nesta seqüência de tratamento foi cerca de 99,6%. Apesar da aparente eficiência, a densidade de cianobactérias na água filtrada ainda foi alta, apresentando uma média de 4.400 células/mL

A ozonização da água filtrada (pós-ozonização), mesmo realizada com uma dosagem de ozônio superior à da pré-ozonização, não foi suficiente para atingir o desempenho semelhante ao verificado na seqüência composta por pré-ozonização e filtração rápida descendente (filtração direta). Na água produzida pela seqüência formada por filtração direta e pós-ozonização foi observada uma densidade média de de cianobactérias de 42.500 células/mL.

De um modo geral, a água produzida através da filtração direta descendente com pré ou pós-ozonização, independentemente da concentração de ozônio que foi empregada nesta pesquisa, continuou a apresentar elevadas densidades de cianobactérias.

Considerando-se apenas a remoção das saxitoxinas, convém lembrar que a sua concentração nas amostras de água bruta da Lagoa do Peri foi muito baixa, em torno de 3,2 µg/L eq. STX/L. Este fato contribuiu para que as concentrações na água tratada estivessem muito próximas do limite de detecção do método de análise, o que prejudicou consideravelmente a avaliação da eficácia das seqüências de tratamento. Mesmo assim, avaliando-se as seqüências de tratamento da fase

experimental 3, nas quais as análises de saxitoxinas foram mais precisas, observou-se que a composição formada por pré-ozonização e filtração rápida descendente (filtração direta) foi mais eficiente.

Convertendo-se as concentrações de saxitoxinas em equivalentes de saxitoxina, observou-se que a água produzida em todas as seqüências de tratamento da fase 3 apresentou valores abaixo do limite recomendado pela portaria 518 do Ministério da Saúde (Brasil, 2004) para água potável, ou seja, $3,0\mu\text{g/L eq. STX/L}$. As concentrações médias na água produzida através da filtração direta descendente, pré-ozonização/ filtração direta descendente e filtração direta descendente/pós-ozonização foram de 0,08, 0,04 e 0,02 $\mu\text{g/L eq. STX/L}$, respectivamente. Apesar de inferiores ao valor limite, as concentrações de saxitoxinas nas amostras de água produzida não podem ser desconsideradas, pois permanece por esclarecer o efeito do consumo a longo prazo de baixas concentrações de saxitoxinas sobre a saúde dos seres humanos.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A água produzida através da filtração direta descendente com pré ou pós-ozonização, independentemente das concentrações de ozônio empregadas, continuou a apresentar consideráveis densidades de cianobactérias. Este resultado não confirmou a eficiência da ozonização na remoção de cianobactérias considerada por alguns autores. Para uma avaliação mais detalhada da eficiência recomenda-se estudar os mecanismos envolvidos nas reações do ozônio com as cianobactérias. Sabe-se que, em condições de pH alcalino, as reações são mais rápidas e menos seletivas. Estas condições poderiam ser mais favoráveis à remoção das cianobactérias. Neste mesmo sentido, a combinação do ozônio com o peróxido de hidrogênio (O_3/H_2O_2) também poderia aumentar a eficiência na remoção das cianobactérias.

A baixa concentração de saxitoxinas nas águas da Lagoa do Peri não permitiu uma avaliação precisa da eficiência da pré e da pós-ozonização. Para uma análise mais detalhada seria necessário que a concentração de saxitoxinas na água bruta fosse, pelo menos, dez vezes superior à concentração encontrada durante a realização desta pesquisa, que se situou em torno de $3,2\mu\text{g/L}$ eq. STX/L. Concentrações assim tão altas em águas naturais são, contudo, raras. A maioria dos trabalhos já publicados sobre a remoção de saxitoxinas através da ozonização refere concentrações de saxitoxinas superiores a $30,0\mu\text{g/L}$, todas obtidas artificialmente. Para permitir uma alimentação dos sistemas-piloto com água com altas concentrações de saxitoxinas, recomenda-se que eles devam ser construídos em escala reduzida.

Outro aspecto importante que deve ser considerado é a possibilidade da liberação de toxinas por dano às células das cianobactérias durante as diferentes etapas de tratamento da água. É necessária, portanto, uma avaliação cuidadosa das frações intra e extracelular das cianotoxinas. À medida que ocorre a liberação

da cianotoxina por lise celular verifica-se um aumento da concentração da fração extracelular (dissolvida em água) e uma diminuição da fração intracelular. Tal avaliação não foi possível no presente trabalho devido às baixas concentrações de toxinas na água bruta e à falta de concentração das amostras para a análise da fração dissolvida em água. Nesta pesquisa, em todas as amostras da fração extracelular não foram detectadas concentrações de saxitoxinas. Para garantir uma análise adequada da fração dissolvida em água recomenda-se a concentração das amostras através de métodos como a liofilização, a filtração ou a evaporação. Deve-se ter em consideração, porém, que a necessidade da concentração das amostras para a análise de saxitoxinas dissolvidas em água é um aspecto que começa a ser explorado e constitui um campo fértil a várias pesquisas. Este fato corrobora a importância do trabalho agora apresentado que, devido ao seu caráter inovador, aprofunda os atuais conhecimentos sobre a remoção das saxitoxinas através do emprego da ozonização.

APÊNDICE A

(Fase experimental 1)

- A.1 – Resultados dos ensaios de coagulação da fase 1**
- A.2 – Resultados dos ensaios no sistema piloto da fase 1**
 - A.2.1 – Controle da concentração de ozônio transferida na pré-ozonização**
 - A.2.2 – Planilhas de acompanhamento das carreiras de filtração**

A.1 - Resultados dos ensaios de coagulação da primeira fase

Resultados dos ensaios de coagulação com a água bruta (Fase 1)

Tabela A.1.1 – 1º Ensaio de coagulação com água bruta

JARRO	PRODUTO QUÍMICO			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal (mg/L)	Ácido Sulfúrico (mL/L)	Hidroxidocloreto de Alumínio (mg/L)		Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)
1	---	0,4	12	6,39	1,17	17
2	---	0,8	12	6,31	1,26	17
3	---	1,2	12	6,21	1,10	15
4	---	1,6	12	6,14	1,17	17
5	---	2,0	12	6,08	1,26	15
6	---	2,4	12	5,88	1,10	14

Tabela A.1.2 – 2º Ensaio de coagulação com água bruta

JARRO	PRODUTO QUÍMICO			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal (mg/L)	Ácido Sulfúrico (mL/L)	Hidroxidocloreto de Alumínio (mg/L)		Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)
1	---	---	12	6,81	1,34	23
2	---	---	14	6,80	1,14	19
3	---	---	16	6,76	0,75	14
4	---	---	18	6,71	0,56	10
5	---	---	20	6,66	0,41	7
6	---	---	22	6,60	0,31	5

Tabela A.1.3 – 3º Ensaio de coagulação com água bruta

JARRO	PRODUTO QUÍMICO			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal (mg/L)	Ácido Sulfúrico (mL/L)	Hidroxidocloreto de Alumínio (mg/L)		Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)
1	---	---	20	6,49	0,38	7
2	---	0,35	20	6,12	0,32	5
3	---	0,70	20	5,76	0,25	4
4	---	1,05	20	5,52	0,27	4
5	---	1,40	20	5,28	0,29	5
6	---	1,75	20	5,04	0,26	4

Tabela A.1.4 – 4º Ensaio de coagulação com água bruta

JARRO	PRODUTO QUÍMICO			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal (mg/L)	Ácido Sulfurico (mL/L)	Hidroxiclreto de Alumínio (mg/L)		Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)
1	---	---	20	6,63	0,42	5
2	1,0	---	20	7,02	0,58	6
3	2,0	---	20	7,26	0,55	6
4	3,0	---	20	7,29	0,75	7
5	4,0	---	20	7,55	1,49	17
6	5,0	---	20	7,77	1,82	27

Tabela A.1.5 – 5º Ensaio de coagulação com água bruta

JARRO	PRODUTO QUÍMICO			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal (mg/L)	Ácido Sulfurico (mL/L)	Hidroxiclreto de Alumínio (mg/L)		Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)
1	---	---	22	6,58	0,34	5
2	---	0,48	22	6,06	0,29	5
3	---	0,96	22	5,64	0,31	6
4	---	1,44	22	5,30	0,30	6
5	---	1,92	22	4,95	0,40	5
6	---	2,40	22	4,61	0,25	3

**Resultados dos ensaios de coagulação com a água pré-ozonizada -1,0mO₃/L
(Fase 1)**

Tabela A.1.6 – 1º Ensaio de coagulação com água pré-ozonizada

JARRO	PRODUTO QUÍMICO			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal (mg/L)	Ácido Sulfurico (mL/L)	Hidroxiclreto de Alumínio (mg/L)		Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)
1	---	---	12	6,29	0,83	11
2	0,5	---	12	6,38	0,85	16
3	1,0	---	12	6,43	0,74	8
4	2,0	---	12	6,56	1,40	21
5	3,5	---	12	7,01	2,11	30
6	5,0	---	12	7,16	2,32	32

Tabela A.1.7 – 2º Ensaio de coagulação com água pré-ozonizada

JARRO	PRODUTO QUÍMICO			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal (mg/L)	Ácido Sulfurico (mL/L)	Hidroxiclreto de Alumínio (mg/L)		Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)
1	---	---	12	6,39	0,81	13
2	---	---	14	6,31	0,55	7
3	---	---	16	6,21	0,54	7
4	---	---	18	6,14	0,51	6
5	---	---	20	6,08	0,46	5
6	---	---	22	5,98	0,48	5

Tabela A.1.8 – 3º Ensaio de coagulação com água pré-ozonizada

JARRO	PRODUTO QUÍMICO			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal (mg/L)	Ácido Sulfurico (mL/L)	Hidroxiclreto de Alumínio (mg/L)		Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)
1	---	0,8	14	6,13	0,52	5
2	---	1,0	14	6,01	0,45	4
3	---	1,2	14	5,99	0,44	4
4	---	0,4	16	6,08	0,41	4
5	---	0,8	16	5,68	0,47	4
6	---	1,0	16	5,53	0,50	4

**A.2.1– Controle da concentração de ozônio transferida na pré-ozonização –
Fase 1**

FORMULÁRIO DE CONTROLE DA OZONIZAÇÃO

ENSAIO Nº: 1.2 (Fase 1) DATA: 19/03/03 EXECUTOR: Luiz

GERADOR

Potência (W) \cong 10,5

Pressão de saída (bar) = 0,5

FEED GÁS

Vazão de gás (L/h) $Q_g = 60$

Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 2$

Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 2)/60 = 2$

Volume de tiossulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 12,8$

$[O_3]_{\text{feed}}$ (mg/L) $= (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 12,8 \times 24)/2 = 15,36$

OFF GÁS

Vazão de gás (L/h) $Q_g = 60$

Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 4$

Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 4)/60 = 4$

Volume de tiossulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 3,1$

$[O_3]_{\text{off}}$ (mg/L) $= (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 3,1 \times 24)/4 = 1,86$

TRANSFERÊNCIA

Eficiência (%) $E = \{([O_3]_{\text{feed}} - [O_3]_{\text{off}})/[O_3]_{\text{feed}}\} \times 100 = \{(15,36 - 1,86)/15,36\} \times 100 = 87\%$

Água no reator: Vazão (L/h) $Q_a = 751$

Volume (L) $V_a = 29,12$

Tempo de contato do reator (min) $T = (V_a \times 60)/Q_a = (29,12 \times 60)/751 = 2,33$

Ozônio transferido para água (mg/L) $[O_3]_t$:

$[O_3]_t = (Q_g \times T \times [O_3]_{\text{feed}} \times E)/V_a \times 6000 = (60 \times 2,33 \times 15,36 \times 87)/29,12 \times 6000$

$[O_3]_t \cong 1,07 \text{mgO}_3/\text{L}$

FORMULÁRIO DE CONTROLE DA OZONIZAÇÃO**ENSAIO Nº: 1.4 – (Fase 1) DATA: 14/04/03 EXECUTOR: Luiz****GERADOR**Potência (W) \cong 10,5

Pressão de saída (bar) = 0,5

FEED GÁSVazão de gás (L/h) $Q_g = 60$ Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 2$ Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 2)/60 = 2$ Volume de tiossulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 12,9$ $[O_3]_{\text{feed}} \text{ (mg/L)} = (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 12,9 \times 24)/2 = 15,48$ **OFF GÁS**Vazão de gás (L/h) $Q_g = 60$ Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 4$ Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 4)/60 = 4$ Volume de tiossulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 3,3$ $[O_3]_{\text{off}} \text{ (mg/L)} = (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 3,3 \times 24)/4 = 1,98$ **TRANSFERÊNCIA**Eficiência (%) $E = \{([O_3]_{\text{feed}} - [O_3]_{\text{off}})/[O_3]_{\text{feed}}\} \times 100 = \{(15,48 - 1,98)/15,48\} \times 100 = 87\%$ Água no reator: Vazão (L/h) $Q_a = 751$ Volume (L) $V_a = 29,12$ Tempo de contato do reator (min) $T = (V_a \times 60)/Q_a = (29,12 \times 60)/751 = 2,33$ Ozônio transferido para água (mg/L) $[O_3]_t$: $[O_3]_t = (Q_g \times T \times [O_3]_{\text{feed}} \times E)/V_a \times 6000 = (60 \times 2,33 \times 15,48 \times 87)/29,12 \times 6000$ $[O_3]_t \cong 1,08 \text{mgO}_3/\text{L}$

FORMULÁRIO DE CONTROLE DA OZONIZAÇÃO**ENSAIO Nº: 1.6 – (Fase 1) DATA: 05/05/03 EXECUTOR: Luiz****GERADOR**Potência (W) \cong 10,5

Pressão de saída (bar) = 0,5

FEED GÁSVazão de gás (L/h) $Q_g = 60$ Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 2$ Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 2)/60 = 2$ Volume de tiossulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 13,3$ $[O_3]_{\text{feed}} \text{ (mg/L)} = (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 13,3 \times 24)/2 = 15,96$ **OFF GÁS**Vazão de gás (L/h) $Q_g = 60$ Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 4$ Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 4)/60 = 4$ Volume de tiossulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 4,5$ $[O_3]_{\text{off}} \text{ (mg/L)} = (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 4,5 \times 24)/4 = 2,70$ **TRANSFERÊNCIA**Eficiência (%) $E = \{([O_3]_{\text{feed}} - [O_3]_{\text{off}})/[O_3]_{\text{feed}}\} \times 100 = \{(15,96 - 2,70)/15,96\} \times 100 = 83\%$ Água no reator: Vazão (L/h) $Q_a = 751$ Volume (L) $V_a = 29,12$ Tempo de contato do reator (min) $T = (V_a \times 60)/Q_a = (29,12 \times 60)/751 = 2,33$ Ozônio transferido para água (mg/L) $[O_3]_t$: $[O_3]_t = (Q_g \times T \times [O_3]_{\text{feed}} \times E)/V_a \times 6000 = (60 \times 2,33 \times 15,96 \times 83)/29,12 \times 6000$ $[O_3]_t \cong 1,06 \text{ mgO}_3/\text{L}$

A.2.2 – Planilhas de acompanhamento das carreiras de filtração da fase experimental 1

Tabela A.2.1 – 1º Carreira de filtração (filtração direta descendente) – Ensaio 1.1

Água bruta: Lagoa do Peri									Dosagem de coagulante (mg/L): \cong 22 (hidroxicloreto de alumínio – HCA)						
Vazão de alimentação do filtro (L/hora): \cong 317,0									Dosagem de alcalinizante (mg/L):						
Taxa (m³/m².dia): \cong 200									Dosagem de acidificante (mL/L): \cong 0,40 \Rightarrow pH \cong 6,0						
Obs: Ensaio 1 – 1ª Fase – Filtração Direta – Realizado em 12/03/03- Operadores: Heloísa, Luiz Carlos e Carolina															
Pré-ozonização		[O₃]transf. para água:			[O₃]dissol. água:				Pós-ozonização		[O₃]transf. para água:			[O₃]dissol. água:	
Data e Hora/ Observação		Leitura dos piezômetros (cm)							Parâmetro		Ponto de coleta				
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7			P8	Bruta	Pré-O₃	Coagulada	Filtrada
14h05min		32,4	31,0	30,5	30,4	29,2	28,8	27,8	26,4	Turbidez (uT)	3,24			0,82	
										Cor aparente (uH)	56			11	
										pH	6,64		6,14	5,75	
										Temperatura (°C)	31,0				
14h35min		37,2	31,0	30,5	30,4	29,2	28,8	27,8	26,4	Turbidez (uT)	3,90			0,67	
										Cor aparente (uH)	53			8	
										pH	6,77		6,14	5,88	
										Temperatura (°C)	31,0				
15h05min (1hora)		44,5	31,3	30,5	30,5	29,3	28,8	27,9	26,4	Turbidez (uT)	3,28			0,63	
										Cor aparente (uH)	56			6	
										pH	6,74		6,23	5,75	
										Temperatura (°C)	31,0				
16h05min (2horas)		55,3	32,0	30,5	30,5	29,3	28,8	27,9	26,4	Turbidez (uT)	4,00			0,61	
										Cor aparente (uH)	64			7	
										pH	6,82		5,95	5,54	
										Temperatura (°C)	32,0				
17h05min (3horas)		67,3	33,3	31,3	31,2	29,4	28,8	27,9	26,4	Turbidez (uT)	3,66			0,57	
										Cor aparente (uH)	56			8	
										pH	8,35		6,24	5,74	
										Temperatura (°C)	32,0				
18h05min (4horas)		79,5	36,5	31,6	31,2	29,4	29,0	28,0	26,5	Turbidez (uT)	3,75			0,54	
										Cor aparente (uH)	59			8	
										pH	8,48		6,20	5,96	
										Temperatura (°C)	32,0				

Data e Hora/ Observação	Leitura dos piezômetros (cm)								Parâmetro	Ponto de coleta			
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		Bruta	Pré-O ₃	Coagulada	Filtrada
19h05min (5horas)	91,3	40,7	31,6	31,2	29,5	29,0	28,0	26,5	Turbidez (uT)	3,32			0,44
									Cor aparente (uH)	57			9
									pH	6,77		6,05	5,96
									Temperatura (°C)	31,5			
20h05min (6horas)	108,2	46,5	32,5	31,2	29,6	29,0	28,0	26,5	Turbidez (uT)	4,03			0,44
									Cor aparente (uH)	53			2
									pH	6,60		6,03	5,54
									Temperatura (°C)	30,5			
21h05min (7horas)	122,9	52,3	34,3	31,2	29,8	29,1	28,1	26,6	Turbidez (uT)	3,53			0,42
									Cor aparente (uH)	53			2
									pH	6,98		5,90	5,62
									Temperatura (°C)	30,0			
22h05min (8horas)	135,0	58,8	36,8	31,8	30,0	29,2	28,1	26,6	Turbidez (uT)	3,44			0,42
									Cor aparente (uH)	58			3
									pH	6,64		6,00	5,57
									Temperatura (°C)	29,6			
23h05min (9horas)	146,6	65,4	39,8	32,6	30,1	29,3	28,2	26,6	Turbidez (uT)	3,50			0,42
									Cor aparente (uH)	56			4
									pH	6,71		5,97	5,65
									Temperatura (°C)	29,1			
00h05min (10horas)	160,2	73,1	43,7	33,8	30,5	29,3	28,1	26,6	Turbidez (uT)	4,05			0,42
									Cor aparente (uH)	63			4
									pH	6,71		5,99	5,83
									Temperatura (°C)	29,0			
01h05min (11horas)	172,6	80,5	48,1	36,8	31,2	29,5	28,2	26,6	Turbidez (uT)	3,53			0,38
									Cor aparente (uH)	63			4
									pH	6,33		5,96	5,54
									Temperatura (°C)	29,0			
02h05min (12horas)	183,8	87,4	52,5	39,1	32,2	29,9	28,2	26,6	Turbidez (uT)	3,40			0,38
									Cor aparente (uH)	61			4
									pH	6,57		5,98	5,60
									Temperatura (°C)	29,0			

Data e Hora/ Observação	Leitura dos piezômetros (cm)								Parâmetro	Ponto de coleta			
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		Bruta	Pré-O ₃	Coagulada	Filtrada
03h25min (13,33horas)	200,0	98,1	59,1	43,6	34,2	30,5	28,2	26,6	Turbidez (uT)	3,82			0,38
									Cor aparente (uH)	58			4
									pH	6,42		6,01	5,62
									Temperatura (°C)	29,0			
									Turbidez (uT)				
									Cor aparente (uH)				
									pH				
									Temperatura (°C)				
									Turbidez (uT)				
									Cor aparente (uH)				
									pH				
									Temperatura (°C)				
									Turbidez (uT)				
									Cor aparente (uH)				
									pH				
									Temperatura (°C)				
									Turbidez (uT)				
									Cor aparente (uH)				
									pH				
									Temperatura (°C)				
									Turbidez (uT)				
									Cor aparente (uH)				
									pH				
									Temperatura (°C)				
									Turbidez (uT)				
									Cor aparente (uH)				
									pH				
									Temperatura (°C)				

Tabela A.2.2 – 2º Carreira de filtração (pré-ozonização e filtração direta descendente) – Ensaio 1.2

Água bruta: Pré-ozonizada (Lagoa do Peri)									Dosagem de coagulante (mg/L): \cong 14 (hidroxicloreto de alumínio – HCA)					
Vazão de alimentação do filtro (L/hora): \cong 317,0									Dosagem de alcalinizante (mg/L):					
Taxa (m³/m².dia): \cong 200									Dosagem de acidificante (mL/L):					
Obs: Ensaio 2 – 1ª Fase – Pré-ozonização e Filtração Direta – Realizado em 19/03/03-									Operadores: Ramon, Rafael e Deverson					
Pré-ozonização		[O₃]transf. para água: \cong 1,0m/L			[O₃]dissol. água:				Pós-ozonização		[O₃]transf. para água:		[O₃]dissol. água:	
Data e Hora/ Observação		Leitura dos piezômetros (cm)							Parâmetro		Ponto de coleta			
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7			P8	Bruta	Pré-O₃	Coagulada
13h55min		33,1	31,9	31,1	29,9	29,9	29,3	28,2	26,7	Turbidez (uT)	3,86	3,20		0,58
										Cor aparente (uH)	51	28		< 1
										pH	6,70	6,53	5,68	5,49
										Temperatura (°C)	29,2			
14h25min		34,7	32,3	31,3	30,0	30,0	29,4	28,3	26,7	Turbidez (uT)	4,14	2,96		0,48
										Cor aparente (uH)	51	26		< 1
										pH	6,71	6,43	5,87	5,69
										Temperatura (°C)	28,9			
14h55min (1hora)		37,0	32,9	31,7	30,4	30,2	29,7	28,4	26,7	Turbidez (uT)	4,44	3,18		0,48
										Cor aparente (uH)	57	35		5
										pH	7,08	6,72	5,88	5,84
										Temperatura (°C)	29,0			
15h55min (2horas)		41,5	33,9	32,3	30,7	30,5	29,8	28,5	26,7	Turbidez (uT)	4,40	3,18		0,48
										Cor aparente (uH)	55	32		2
										pH	7,26	6,72	6,12	6,00
										Temperatura (°C)	29,0			
16h55min (3horas)		47,2	35,1	32,7	31,1	30,7	30,0	28,5	26,8	Turbidez (uT)	4,02	3,11		0,44
										Cor aparente (uH)	59	35		4
										pH	7,35	6,98	6,20	6,08
										Temperatura (°C)	29,0			
17h55min (4horas)		55,2	37,0	33,5	31,6	30,9	30,1	28,7	26,8	Turbidez (uT)	3,73	3,21		0,43
										Cor aparente (uH)	51	36		1
										pH	7,17	6,99	5,90	5,89
										Temperatura (°C)	28,5			

< 1 = valor menor do que 1 uH

Data e Hora/ Observação	Leitura dos piezômetros (cm)								Parâmetro	Ponto de coleta			
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		Bruta	Pré-O ₃	Coagulada	Filtrada
18h55min (5horas)	62,6	39,1	34,3	32,1	31,5	30,5	28,9	27,0	Turbidez (uT)	4,03	3,12		0,46
									Cor aparente (uH)	56	36		2
									pH	7,14	7,08	6,00	5,87
									Temperatura (°C)	28,5			
19h55min (6horas)	70,2	41,5	35,4	32,7	31,8	30,7	29,0	27,1	Turbidez (uT)	4,03	3,36		0,26
									Cor aparente (uH)	58	36		1
									pH	6,75	6,61	5,90	5,83
									Temperatura (°C)	28,0			
20h55min (7horas)	79,0	44,7	37,0	33,7	32,4	31,2	29,3	27,2	Turbidez (uT)	4,40	3,16		0,45
									Cor aparente (uH)	64	40		4
									pH	7,06	6,89	5,83	5,76
									Temperatura (°C)	27,5			
21h55min (8horas)	85,7	47,4	38,4	34,5	32,9	31,5	29,5	27,3	Turbidez (uT)	4,14	3,17		0,44
									Cor aparente (uH)	60	38		5
									pH	7,08	6,98	5,92	5,89
									Temperatura (°C)	27,2			
22h55min (9horas)	93,2	50,5	40,2	35,5	33,4	31,8	29,7	27,9	Turbidez (uT)	4,94	3,03		0,44
									Cor aparente (uH)	62	36		4
									pH	7,04	6,96	5,92	5,89
									Temperatura (°C)	27,2			
23h55min (10horas) A ETA parou de funcionar as 24horas – pH da água bruta aumentou	102,5	54,5	42,5	37,0	34,3	32,5	30,0	27,6	Turbidez (uT)	4,01	3,08		0,41
									Cor aparente (uH)	57	37		3
									pH	7,10	7,02	5,93	5,92
									Temperatura (°C)	26,7			
00h55min (11horas)	111,0	58,3	44,8	38,5	35,2	33,1	30,3	27,8	Turbidez (uT)	3,78	2,80		0,46
									Cor aparente (uH)	59	32		3
									pH	7,10	7,03	6,04	5,96
									Temperatura (°C)	26,7			
01h55min (12horas)	118,5	62,2	47,2	40,2	36,1	33,7	30,7	27,9	Turbidez (uT)	3,62	3,07		0,47
									Cor aparente (uH)	58	35		4
									pH	7,07	7,04	6,02	5,93
									Temperatura (°C)	26,8			

Data e Hora/ Observação	Leitura dos piezômetros (cm)								Parâmetro	Ponto de coleta			
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		Bruta	Pré-O ₃	Coagulada	Filtrada
02h55min (13horas)	126,0	66,7	50,0	42,2	37,3	34,5	31,1	28,1	Turbidez (uT)	3,60	2,91		0,58
									Cor aparente (uH)	55	34		5
									pH	7,38	7,04	6,12	6,02
									Temperatura (°C)	26,7			
03h55min (14horas)	132,1	70,2	52,5	44,1	38,5	35,3	31,6	28,3	Turbidez (uT)	4,74	3,34		0,67
									Cor aparente (uH)	57	39		6
									pH	7,90	7,20	6,02	6,11
									Temperatura (°C)	26,6			
04h55min (15horas)	141,0	74,7	55,2	45,9	39,7	36,1	32,0	28,6	Turbidez (uT)	4,06	3,27		0,57
									Cor aparente (uH)	54	38		3
									pH	8,35	7,66	6,16	6,07
									Temperatura (°C)	26,6			
05h55min (16horas)	148,0	79,3	58,2	48,5	41,5	37,2	32,6	28,9	Turbidez (uT)	3,87	3,59		0,60
									Cor aparente (uH)	56	41		5
									pH	9,01	8,17	6,18	6,19
									Temperatura (°C)	26,5			
06h55min (17horas) A ETA voltou a funcionar as 6horas – pH da água bruta baixou	159,0	84,3	61,3	50,6	42,7	38,2	33,1	29,2	Turbidez (uT)	4,65	3,39		0,46
									Cor aparente (uH)	64	39		4
									pH	6,78	6,73	5,02	5,92
									Temperatura (°C)	25,0			
07h55min (18horas)	178,0	92,0	65,4	53,1	44,1	37,9	33,4	29,3	Turbidez (uT)	4,08	3,26		0,44
									Cor aparente (uH)	63	43		6
									pH	6,68	6,73	5,83	6,05
									Temperatura (°C)	24,8			
08h55min (19horas)	184,3	98,7	70,2	56,1	45,6	40,0	33,9	29,6	Turbidez (uT)	4,28	3,40		0,57
									Cor aparente (uH)	60	39		7
									pH	6,44	6,65	5,72	5,81
									Temperatura (°C)	25,0			
10h05min (20,2horas)	200,0	107,3	76,1	60,5	48,7	42,0	35,0	30,3	Turbidez (uT)	3,93	3,40		0,62
									Cor aparente (uH)	56	41		8
									pH	6,52	6,72	6,00	5,88
									Temperatura (°C)	25,5			

Tabela A.2.3 – 3º Carreira de filtração (filtração direta descendente) – Ensaio 1.3

Água bruta: Lagoa do Peri									Dosagem de coagulante (mg/L): \cong 22 (hidroxicloreto de alumínio – HCA)					
Vazão de alimentação do filtro (L/hora): \cong 317,0									Dosagem de alcalinizante (mg/L):					
Taxa (m³/m².dia): \cong 200									Dosagem de acidificante (mL/L): \cong 0,40 \Rightarrow pH \cong 6,0					
Obs: Ensaio 3 – 1ª Fase – Filtração Direta – Realizado em 31/03/03- Operadores: Heloísa, Luiz Carlos e Rafael														
Pré-ozonização	[O₃]transf. para água:				[O₃]dissol. água:				Pós-ozonização	[O₃]transf. para água:				[O₃]dissol. água:
Data e Hora/ Observação		Leitura dos piezômetros (cm)							Parâmetro		Ponto de coleta			
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7			P8	Bruta	Pré-O₃	Coagulada
14h50min		37,2	36,0	35,6	33,5	33,4	32,1	30,4	28,2	Turbidez (uT)	4,27			0,50
										Cor aparente (uH)	61			7
										pH	6,52		5,92	5,92
										Temperatura (°C)	26,3			
15h20min		41,0	37,4	35,6	34,1	33,3	32,3	30,4	28,2	Turbidez (uT)	4,34			0,48
										Cor aparente (uH)	64			8
										pH	6,71		5,98	5,93
										Temperatura (°C)	25,6			
15h50min (1hora)		48,3	39,1	35,6	34,1	33,3	32,3	30,4	28,2	Turbidez (uT)	4,45			0,49
										Cor aparente (uH)	60			5
										pH	6,55		6,00	5,93
										Temperatura (°C)	25,6			
16h50min (2horas)		62,6	45,0	35,9	34,1	33,3	32,3	30,4	28,2	Turbidez (uT)	4,73			0,57
										Cor aparente (uH)	71			10
										pH	6,51		6,18	5,80
										Temperatura (°C)	25,2			
17h50min (3horas)		77,3	52,9	36,6	34,2	33,3	32,3	30,4	28,2	Turbidez (uT)	3,47			0,47
										Cor aparente (uH)	68			6
										pH	5,98		5,70	5,58
										Temperatura (°C)	25,2			
18h50min (4horas)		91,5	62,5	38,4	34,7	33,3	32,3	30,4	28,2	Turbidez (uT)	4,28			0,55
										Cor aparente (uH)	68			9
										pH	7,84		6,12	6,01
										Temperatura (°C)	25,3			

Data e Hora/ Observação	Leitura dos piezômetros (cm)								Parâmetro	Ponto de coleta			
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		Bruta	Pré-O ₃	Coagulada	Filtrada
19h50min (5horas)	110,0	76,1	41,8	35,6	33,4	32,3	30,4	28,2	Turbidez (uT)	4,34			0,48
									Cor aparente (uH)	66			5
									pH	6,89		5,91	5,94
									Temperatura (°C)	25,0			
20h50min (6horas)	127,8	89,0	46,2	37,0	36,6	32,3	30,4	28,2	Turbidez (uT)	4,12			0,39
									Cor aparente (uH)	69			7
									pH	6,71		5,97	5,88
									Temperatura (°C)	25,2			
21h50min (7horas)	140,5	99,4	50,7	39,0	36,6	32,3	30,4	28,2	Turbidez (uT)	4,17			0,53
									Cor aparente (uH)	67			8
									pH	6,53		5,94	5,81
									Temperatura (°C)	25,0			
22h50min (8horas)	154,3	110,9	56,5	41,7	36,6	32,6	30,4	28,2	Turbidez (uT)	4,07			0,46
									Cor aparente (uH)	66			8
									pH	6,92		5,84	5,66
									Temperatura (°C)	25,0			
23h50min (9horas)	169,5	125,4	65,8	45,6	36,6	33,0	30,4	28,2	Turbidez (uT)	4,20			0,42
									Cor aparente (uH)	64			7
									pH	6,85		5,83	5,70
									Temperatura (°C)	24,9			
00h50min (10horas)	181,8	134,4	69,1	48,7	37,2	33,4	30,4	28,2	Turbidez (uT)	4,12			0,48
									Cor aparente (uH)	63			8
									pH	6,83		5,93	5,83
									Temperatura (°C)	24,2			
01h50min (11horas)	195,4	146,7	76,0	53,1	39,0	34,3	30,6	28,3	Turbidez (uT)	3,52			0,42
									Cor aparente (uH)	65			8
									pH	6,98		6,05	5,94
									Temperatura (°C)	25,0			
02h15min (11,42horas)	200,0	150,3	79,0	55,0	39,9	34,7	30,7	28,3	Turbidez (uT)	4,75			0,45
									Cor aparente (uH)	63			6
									pH	7,29		6,08	5,98
									Temperatura (°C)	25,0			

Tabela A.2.4 – 4º Carreira de filtração (pré-ozonização e filtração direta descendente) – Ensaio 1.4

Água bruta: pré-ozonizada (Lagoa do Peri)									Dosagem de coagulante (mg/L): \cong 14 (hidroxicloreto de alumínio – HCA)					
Vazão de alimentação do filtro (L/hora): \cong 317,0									Dosagem de alcalinizante (mg/L):					
Taxa (m³/m².dia): \cong 200									Dosagem de acidificante (mL/L):					
Obs: Ensaio 4 – 1ª Fase – Pré-ozonização e Filtração Direta – Realizado em 14/04/03-									Operadores: Luiz, Rafael, Carolina e Marcelo					
Pré-ozonização	[O₃]transf. para água: \cong 1,0m/L			[O₃]dissol. água:					Pós-ozonização	[O₃]transf. para água:			[O₃]dissol. água:	
Data e Hora/ Observação		Leitura dos piezômetros (cm)							Parâmetro		Ponto de coleta			
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7			P8	Bruta	Pré-O₃	Coagulada
14h40min		40,4	33,2	32,4	32,2	31,3	30,7	29,5	28,0	Turbidez (uT)	4,03	3,12		0,16
										Cor aparente (uH)	56	23		< 1
										pH	6,88	6,43	5,84	5,79
										Temperatura (°C)	24,7			
15h10min		46,7	33,5	32,6	32,4	31,4	30,9	29,7	28,2	Turbidez (uT)	4,29	2,99		0,15
										Cor aparente (uH)	56	28		< 1
										pH	7,02	6,65	5,80	5,73
										Temperatura (°C)	25,1			
16h40min (1hora)		57,6	34,3	32,8	32,5	31,5	30,9	29,7	28,2	Turbidez (uT)	4,31	3,31		0,21
										Cor aparente (uH)	60	34		< 1
										pH	7,07	6,56	5,76	5,69
										Temperatura (°C)	25,1			
17h40min (2horas)		68,1	35,4	32,9	32,5	31,5	30,9	29,8	28,2	Turbidez (uT)	4,47	2,86		0,18
										Cor aparente (uH)	61	31		2
										pH	6,72	6,73	5,75	5,73
										Temperatura (°C)	25,0			
18h40min (3horas)		80,3	37,6	33,5	32,8	31,6	31,0	29,8	28,2	Turbidez (uT)	4,97	3,07		0,18
										Cor aparente (uH)	59	29		< 1
										pH	6,89	6,51	5,85	5,74
										Temperatura (°C)	24,7			
19h40min (4horas)		90,0	39,9	34,0	33,0	31,7	31,2	30,0	28,2	Turbidez (uT)	4,30	2,95		0,20
										Cor aparente (uH)	55	27		4
										pH	6,84	6,85	6,01	5,90
										Temperatura (°C)	24,5			

< 1 = valor menor do que 1 uH

Data e Hora/ Observação	Leitura dos piezômetros (cm)								Parâmetro	Ponto de coleta			
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		Bruta	Pré-O ₃	Coagulada	Filtrada
20h40min (5horas)	100,8	43,2	35,0	33,3	31,9	31,4	30,0	28,2	Turbidez (uT)	4,58	2,98		0,18
									Cor aparente (uH)	58	31		< 1
									pH	6,92	6,47	5,90	5,87
									Temperatura (°C)	24,0			
21h40min (6horas)	111,3	46,9	36,1	33,4	32,1	31,4	30,0	28,2	Turbidez (uT)	4,06	2,82		0,19
									Cor aparente (uH)	61	32		< 1
									pH	6,76	6,76	5,91	5,90
									Temperatura (°C)	23,8			
22h40min (7horas)	122,7	50,2	37,7	34,0	32,3	31,4	30,0	28,2	Turbidez (uT)	4,14	2,87		0,20
									Cor aparente (uH)	62	32		< 1
									pH	6,76	6,44	5,93	5,93
									Temperatura (°C)	23,8			
23h40min (8horas)	133,0	56,0	39,6	34,8	32,6	31,6	30,1	28,3	Turbidez (uT)	4,17	2,84		0,20
									Cor aparente (uH)	58	32		< 1
									pH	6,83	6,59	6,00	6,02
									Temperatura (°C)	23,6			
00h40min (9horas)	144,5	61,3	41,8	35,9	33,0	31,8	30,2	28,3	Turbidez (uT)	4,42	2,64		0,22
									Cor aparente (uH)	59	28		< 1
									pH	6,71	6,71	5,94	5,96
									Temperatura (°C)	23,5			
01h40min (10horas)	154,8	67,1	44,8	37,4	33,7	32,2	30,3	28,4	Turbidez (uT)	4,69	3,35		0,24
									Cor aparente (uH)	61	36		1
									pH	7,85	6,72	6,07	6,02
									Temperatura (°C)	23,4			
02h40min (11horas)	160,4	71,3	47,2	39,1	34,4	32,6	30,6	28,5	Turbidez (uT)	4,59	3,48		0,27
									Cor aparente (uH)	59	40		2
									pH	8,79	6,97	5,88	5,92
									Temperatura (°C)	23,4			

< 1 = valor menor do que 1 uH

Data e Hora/ Observação	Leitura dos piezômetros (cm)								Parâmetro	Ponto de coleta			
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		Bruta	Pré-O ₃	Coagulada	Filtrada
03h40min (12horas)	169,1	76,8	50,2	41,0	35,3	33,2	30,9	28,6	Turbidez (uT)	3,65	3,11		0,33
									Cor aparente (uH)	60	40		2
									pH	9,51	8,51	6,20	6,19
									Temperatura (°C)	23,4			
04h40min (13horas)	178,4	80,5	53,6	43,2	36,2	33,7	31,0	28,7	Turbidez (uT)	3,87	3,38		0,30
									Cor aparente (uH)	59	39		1
									pH	9,11	8,56	6,07	6,05
									Temperatura (°C)	23,4			
05h40min (14horas)	186,6	87,2	56,2	44,6	36,9	34,1	31,3	28,9	Turbidez (uT)	4,04	3,67		0,41
									Cor aparente (uH)	57	40		3
									pH	9,49	8,82	6,05	5,99
									Temperatura (°C)	23,4			
06h50min (15,16horas)	200,0	95,0	60,0	47,6	38,4	35,0	31,9	29,2	Turbidez (uT)	4,45	2,78		0,41
									Cor aparente (uH)	57	33		2
									pH	6,66	6,45	5,76	5,75
									Temperatura (°C)	23,0			
									Turbidez (uT)				
									Cor aparente (uH)				
									pH				
									Temperatura (°C)				
									Turbidez (uT)				
									Cor aparente (uH)				
									pH				
									Temperatura (°C)				
									Turbidez (uT)				
									Cor aparente (uH)				
									pH				
									Temperatura (°C)				

Tabela A.2.5 – 5º Carreira de filtração (filtração direta descendente) – Ensaio 1.5

Água bruta: Lagoa do Peri									Dosagem de coagulante (mg/L): \cong 22 (hidroxicloreto de alumínio – HCA)						
Vazão de alimentação do filtro (L/hora): \cong 317,0									Dosagem de alcalinizante (mg/L):						
Taxa (m³/m².dia): \cong 200									Dosagem de acidificante (mL/L): \cong 0,40 \Rightarrow pH \cong 6,0						
Obs: Ensaio 5 – 1ª Fase – Filtração Direta – Realizado em 28/04/03- Operadores: Heloísa, Luiz Carlos e Rafael															
Pré-ozonização		[O₃]transf. para água:			[O₃]dissol. água:				Pós-ozonização		[O₃]transf. para água:			[O₃]dissol. água:	
Data e Hora/ Observação		Leitura dos piezômetros (cm)							Parâmetro		Ponto de coleta				
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7			P8	Bruta	Pré-O₃	Coagulada	Filtrada
10h45min		39,1	32,0	31,7	30,9	30,1	30,0	29,0	27,8	Turbidez (uT)	3,43			0,53	
										Cor aparente (uH)	44			4	
										pH	6,80		6,14	5,94	
										Temperatura (°C)	24,7				
11h15min		43,0	32,0	31,7	30,9	30,1	30,0	29,0	27,8	Turbidez (uT)	3,28			0,43	
										Cor aparente (uH)	43			4	
										pH	6,81		6,04	5,94	
										Temperatura (°C)	25,0				
11h45min (1hora)		47,2	32,3	31,7	31,0	30,4	30,0	29,0	27,9	Turbidez (uT)	3,13			0,40	
										Cor aparente (uH)	43			3	
										pH	6,90		5,94	5,85	
										Temperatura (°C)	25,0				
12h45min (2horas)		59,4	32,9	31,7	31,1	30,4	30,0	29,1	28,0	Turbidez (uT)	3,65			0,39	
										Cor aparente (uH)	51			3	
										pH	6,74		5,91	6,04	
										Temperatura (°C)	25,1				
13h45min (3horas)		74,2	34,4	31,7	31,1	30,4	30,0	29,1	27,7	Turbidez (uT)	3,99			0,40	
										Cor aparente (uH)	53			4	
										pH	6,67		6,08	6,12	
										Temperatura (°C)	25,2				
14h45min (4horas)		85,6	37,0	32,0	31,2	30,5	30,0	29,1	27,8	Turbidez (uT)	3,40			0,45	
										Cor aparente (uH)	54			6	
										pH	6,62		6,16	6,19	
										Temperatura (°C)	25,2				

Data e Hora/ Observação	Leitura dos piezômetros (cm)								Parâmetro	Ponto de coleta			
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		Bruta	Pré-O ₃	Coagulada	Filtrada
15h45min (5horas)	98,1	40,7	32,6	31,3	30,5	30,0	29,1	27,8	Turbidez (uT)	4,73			0,40
									Cor aparente (uH)	51			4
									pH	6,63		5,94	5,98
									Temperatura (°C)	25,0			
16h45min (6horas)	109,0	44,8	33,7	31,7	30,5	30,1	29,1	27,9	Turbidez (uT)	3,89			0,41
									Cor aparente (uH)	51			3
									pH	6,52		6,06	5,98
									Temperatura (°C)	25,2			
17h45min (7horas)	118,6	49,7	35,5	32,2	30,7	30,1	29,1	27,9	Turbidez (uT)	4,15			0,48
									Cor aparente (uH)	50			4
									pH	6,08		5,97	5,92
									Temperatura (°C)	25,0			
18h45min (8horas)	128,5	55,0	37,6	33,0	31,0	30,2	29,1	27,9	Turbidez (uT)	3,38			0,45
									Cor aparente (uH)	56			6
									pH	6,80		6,04	6,02
									Temperatura (°C)	25,0			
19h45min (9horas)	135,5	59,3	40,0	34,3	31,5	30,5	29,2	28,0	Turbidez (uT)	4,10			0,49
									Cor aparente (uH)	55			6
									pH	6,90		6,01	5,96
									Temperatura (°C)	24,5			
20h45min (10horas)	142,2	63,1	43,7	34,8	31,5	30,5	29,2	28,0	Turbidez (uT)	3,66			0,42
									Cor aparente (uH)	54			4
									pH	6,87		6,03	5,93
									Temperatura (°C)	24,5			
21h45min (11horas)	151,6	65,5	44,1	34,9	31,5	30,6	29,2	28,6	Turbidez (uT)	3,60			0,48
									Cor aparente (uH)	51			5
									pH	6,70		5,96	5,94
									Temperatura (°C)	24,5			
22h45min (12horas)	160,0	67,4	45,5	35,0	31,8	30,6	29,2	28,6	Turbidez (uT)	3,84			0,48
									Cor aparente (uH)	51			4
									pH	6,76		5,98	5,90
									Temperatura (°C)	24,5			

Data e Hora/ Observação	Leitura dos piezômetros (cm)								Parâmetro	Ponto de coleta			
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		Bruta	Pré-O ₃	Coagulada	Filtrada
23h25min (13horas)	172,8	71,1	49,1	35,6	32,2	30,7	29,2	28,6	Turbidez (uT)	4,42			0,43
									Cor aparente (uH)	52			4
									pH	6,80		6,03	5,98
									Temperatura (°C)	24,4			
00h45min (14horas)	183,2	74,8	53,7	35,7	32,5	30,8	29,2	28,6	Turbidez (uT)	3,40			0,51
									Cor aparente (uH)	50			6
									pH	6,44		6,10	6,02
									Temperatura (°C)	24,4			
01h45min (15horas)	195,6	79,7	55,5	36,0	32,7	30,8	29,2	28,6	Turbidez (uT)	3,41			0,46
									Cor aparente (uH)	50			5
									pH	6,58		6,06	6,05
									Temperatura (°C)	24,4			
02h15min (15,5horas)	200,0	85,0	58,6	39,1	33,0	30,9	29,5	28,7	Turbidez (uT)	3,89			0,48
									Cor aparente (uH)	48			6
									pH	6,86		5,96	5,98
									Temperatura (°C)	24,4			
									Turbidez (uT)				
									Cor aparente (uH)				
									pH				
									Temperatura (°C)				
									Turbidez (uT)				
									Cor aparente (uH)				
									pH				
									Temperatura (°C)				
									Turbidez (uT)				
									Cor aparente (uH)				
									pH				
									Temperatura (°C)				

Tabela A.2.6 – 6º Carreira de filtração (pré-ozonização e filtração direta descendente) – Ensaio 1.6

Água bruta: Pré-ozonizada (Lagoa do Peri)									Dosagem de coagulante (mg/L): \cong 14 (hidroxicloreto de alumínio – HCA)					
Vazão de alimentação do filtro (L/hora): \cong 317,0									Dosagem de alcalinizante (mg/L):					
Taxa (m³/m².dia): \cong 200									Dosagem de acidificante (mL/L):					
Obs: Ensaio 6 – 1ª Fase – Pré-ozonização e Filtração Direta – Realizado em 05/05/03-									Operadores: Heloisa, Luiz, Carolina e Marcelo					
Pré-ozonização	[O₃]transf. para água: \cong 1,0m/L			[O₃]dissol. água:					Pós-ozonização	[O₃]transf. para água:			[O₃]dissol. água:	
Data e Hora/ Observação		Leitura dos piezômetros (cm)							Parâmetro		Ponto de coleta			
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7			P8	Bruta	Pré-O₃	Coagulada
13h10min		35,0	32,4	31,8	31,4	30,8	30,4	29,3	28,0	Turbidez (uT)	4,59	2,80		0,44
										Cor aparente (uH)	45	24		< 1
										pH	6,58	6,44	5,91	5,99
										Temperatura (°C)	23,0			
13h40min		39,2	32,5	31,8	31,5	30,9	30,4	29,3	28,0	Turbidez (uT)	3,91	2,76		0,15
										Cor aparente (uH)	37	10		< 1
										pH	6,75	6,39	6,19	6,18
										Temperatura (°C)	23,3			
14h10min (1hora)		44,4	32,5	31,8	31,5	30,9	30,4	29,3	28,0	Turbidez (uT)	3,98	3,11		0,15
										Cor aparente (uH)	52	29		< 1
										pH	6,60	6,46	5,84	6,01
										Temperatura (°C)	23,3			
15h10min (2horas)		52,0	32,8	31,9	31,5	30,9	30,4	29,3	28,0	Turbidez (uT)	4,20	2,96		0,20
										Cor aparente (uH)	57	28		2
										pH	6,82	6,54	6,01	6,03
										Temperatura (°C)	23,0			
16h10min (3horas)		62,4	34,0	32,4	31,8	31,1	30,6	29,4	28,0	Turbidez (uT)	4,19	3,36		0,35
										Cor aparente (uH)	57	31		2
										pH	6,84	6,65	6,13	6,25
										Temperatura (°C)	22,5			
17h10min (4horas)		70,6	35,6	32,6	32,0	31,3	30,6	29,4	28,0	Turbidez (uT)	3,98	3,28		0,20
										Cor aparente (uH)	59	31		1
										pH	7,32	6,86	6,07	6,15
										Temperatura (°C)	22,5			

< 1 = valor menor do que 1 uH

Data e Hora/ Observação	Leitura dos piezômetros (cm)								Parâmetro	Ponto de coleta			
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		Bruta	Pré-O ₃	Coagulada	Filtrada
18h10min (5horas)	80,1	38,0	33,3	32,3	31,5	30,7	29,4	28,0	Turbidez (uT)	4,57	3,50		0,29
									Cor aparente (uH)	57	32		< 1
									pH	7,15	6,92	6,14	6,18
									Temperatura (°C)	22,3			
19h10min (6horas)	89,5	41,0	34,0	32,7	31,5	30,9	29,5	28,0	Turbidez (uT)	4,22	3,17		0,25
									Cor aparente (uH)	51	29		< 1
									pH	7,12	6,92	6,10	6,16
									Temperatura (°C)	22,3			
20h10min (7horas)	97,7	43,9	35,3	33,2	31,9	31,0	29,6	28,0	Turbidez (uT)	4,65	3,33		0,25
									Cor aparente (uH)	53	32		< 1
									pH	7,24	7,00	6,07	6,13
									Temperatura (°C)	22,0			
21h10min (8horas)	105,0	47,1	36,5	33,9	32,1	31,3	29,7	28,1	Turbidez (uT)	3,92	3,19		0,18
									Cor aparente (uH)	51	26		< 1
									pH	7,10	6,93	6,02	6,19
									Temperatura (°C)	21,9			
22h10min (9horas)	113,0	51,5	38,1	34,8	32,4	31,4	30,0	28,1	Turbidez (uT)	4,44	3,17		0,34
									Cor aparente (uH)	56	31		3
									pH	7,15	6,97	6,02	6,18
									Temperatura (°C)	22,0			
23h10min (10horas)	121,8	55,0	40,4	35,6	33,0	31,8	30,1	28,2	Turbidez (uT)	4,98	2,92		0,34
									Cor aparente (uH)	54	27		1
									pH	7,05	6,89	6,09	6,17
									Temperatura (°C)	22,0			
00h10min (11horas)	129,2	59,3	42,7	37,2	33,6	32,2	30,2	28,3	Turbidez (uT)	4,52	3,02		0,40
									Cor aparente (uH)	52	26		< 1
									pH	7,19	7,05	5,92	6,14
									Temperatura (°C)	22,0			

< 1 = valor menor do que 1 uH

Data e Hora/ Observação	Leitura dos piezômetros (cm)								Parâmetro	Ponto de coleta			
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		Bruta	Pré-O ₃	Coagulada	Filtrada
01h10min (12horas)	133,2	63,0	45,2	39,0	34,5	32,8	30,5	28,5	Turbidez (uT)	4,56	3,54		0,62
									Cor aparente (uH)	56	36		4
									pH	9,06	8,26	6,20	6,27
									Temperatura (°C)	22,0			
02h10min (13horas)	139,5	66,7	47,2	40,3	35,2	33,2	30,8	28,6	Turbidez (uT)	4,54	23,10		0,59
									Cor aparente (uH)	55	40		4
									pH	9,62	9,10	6,01	6,15
									Temperatura (°C)	22,0			
03h10min (14horas)	146,4	70,5	49,7	41,9	36,0	33,8	31,1	28,7	Turbidez (uT)	4,43	3,19		0,57
									Cor aparente (uH)	54	39		5
									pH	9,12	9,00	6,04	6,10
									Temperatura (°C)	22,0			
04h10min (15horas)	153,6	73,7	52,2	42,5	36,3	34,1	31,2	28,7	Turbidez (uT)	4,36	3,07		0,51
									Cor aparente (uH)	54	38		3
									pH	8,75	8,66	6,06	6,07
									Temperatura (°C)	22,0			
05h10min (16horas)	160,7	77,3	55,9	43,2	37,1	34,7	31,6	28,8	Turbidez (uT)	4,87	3,59		0,49
									Cor aparente (uH)	58	41		2
									pH	8,01	7,77	6,04	6,09
									Temperatura (°C)	22,8			
06h10min (17horas)	167,7	80,2	58,6	43,9	37,3	34,8	31,6	28,8	Turbidez (uT)	4,65	3,38		0,43
									Cor aparente (uH)	59	39		3
									pH	7,88	6,97	6,02	5,92
									Temperatura (°C)	22,8			
07h10min (18horas)	174,9	82,9	60,0	44,1	37,4	34,9	31,6	28,8	Turbidez (uT)	4,18	3,23		0,44
									Cor aparente (uH)	53	40		2
									pH	6,97	6,71	6,00	6,05
									Temperatura (°C)	23,8			

< 1 = valor menor do que 1 uH

Data e Hora/ Observação	Leitura dos piezômetros (cm)								Parâmetro	Ponto de coleta			
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		Bruta	Pré-O ₃	Coagulada	Filtrada
08h10min (19horas)	181,7	85,1	62,4	44,7	37,9	34,9	31,7	28,8	Turbidez (uT)	4,26	3,24		0,47
									Cor aparente (uH)	55	39		3
									pH	6,81	6,68	6,02	6,08
									Temperatura (°C)	23,8			
09h10min (20horas)	188,6	90,3	66,1	45,0	38,1	35,0	31,8	28,9	Turbidez (uT)	3,93	3,28		0,42
									Cor aparente (uH)	54	30		< 1
									pH	6,70	6,44	6,00	6,10
									Temperatura (°C)	24,5			
10h10min (21horas)	196,1	94,4	67,7	45,6	38,4	35,0	31,8	28,9	Turbidez (uT)	3,90	3,19		0,37
									Cor aparente (uH)	51	28		< 1
									pH	6,75	6,38	6,00	6,02
									Temperatura (°C)	24,5			
10h30min (21,33horas)	200,0	95,8	69,1	47,0	38,8	35,3	32,0	28,9	Turbidez (uT)	3,94	3,20		0,40
									Cor aparente (uH)	55	26		< 1
									pH	6,77	6,33	6,00	6,00
									Temperatura (°C)	24,0			
									Turbidez (uT)				
									Cor aparente (uH)				
									pH				
									Temperatura (°C)				
									Turbidez (uT)				
									Cor aparente (uH)				
									pH				
									Temperatura (°C)				
									Turbidez (uT)				
									Cor aparente (uH)				
									pH				
									Temperatura (°C)				

< 1 = valor menor do que 1 uH

APÊNDICE B

(Fase experimental 2)

- B.1 – Resultados dos ensaios de coagulação da fase 2**
- B.2 – Resultados dos ensaios no sistema piloto da fase 2**
 - B.2.1 – Controle da concentração de ozônio transferida na pré-ozonização**
 - B.2.2 – Planilhas de acompanhamento das carreiras de filtração**
 - B.2.3 – Qualidade da água nas diferentes etapas das seqüências de tratamento**
 - B.2.4 – Cálculo da concentração de saxitoxinas**

B.1 - Resultados dos ensaios de coagulação da fase 2

Resultados dos ensaios de coagulação com a água bruta (Fase 2)

Tabela B.1.1 – 1º Ensaio de coagulação com água bruta

JARRO	PRODUTO QUÍMICO			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal (mg/L)	Ácido Sulfúrico (mL/L)	Sulfato de Alumínio (mg/L)		Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)
1	0,5		20	5,92	0,60	6
2			20	5,78	0,58	6
3		0,05	20	5,74	0,70	7
4		0,10	20	5,66	0,77	8
5		0,12	20	5,57	0,59	6
6		0,15	20	5,40	0,49	5

Tabela B.1.2 – 2º Ensaio de coagulação com água bruta

JARRO	PRODUTO QUÍMICO			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal (mg/L)	Ácido Sulfúrico (mL/L)	Sulfato de Alumínio (mg/L)		Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)
1		0,20	10	5,53	1,83	20
2		0,20	12	5,46	1,07	9
3		0,20	14	5,43	0,77	7
4		0,20	16	5,45	0,39	4
5		0,20	18	5,27	0,54	4
6		0,20	20	5,24	0,58	5

Tabela B.1.3 – 3º Ensaio de coagulação com água bruta

JARRO	PRODUTO QUÍMICO			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal (mg/L)	Ácido Sulfúrico (mL/L)	Sulfato de Alumínio (mg/L)		Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)
1		0,20	16	5,46	0,71	7
2		0,22	16	4,94	0,56	5
3		0,24	16	4,80	1,03	8
4		0,26	16	4,74	1,35	10
5	2,0		16	7,31	1,82	17
6	4,0		16	8,14	3,56	31

Tabela B.1.4 – 4º Ensaio de coagulação com água bruta

JARRO	PRODUTO QUÍMICO			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal (mg/L)	Ácido Sulfurico (mL/L)	Sulfato de Alumínio (mg/L)		Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)
1		0,15	16	5,56	0,54	5
2		0,15	16	5,59	0,52	4
3		0,10	16	5,66	0,69	6
4	0,25		20	5,87	0,66	6
5	0,50		20	5,91	0,59	6
6	0,75		20	5,94	0,51	5

**Resultados dos ensaios de coagulação com a água pré-ozonizada -2,0mO₃/L
(Fase 2)**

Tabela B.1.5 – 1º Ensaio de coagulação com água pré-ozonizada

JARRO	PRODUTO QUÍMICO			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal (mg/L)	Ácido Sulfúrico (mL/L)	Sulfato de Alumínio (mg/L)		Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)
1			16	5,51	0,51	4
2		0,05	16	5,63	0,70	5
3		0,10	16	5,67	0,68	5
4		0,15	16	5,55	0,52	5
5		0,25	16	4,78	1,15	10
6		0,50	16	4,29	1,70	17

Tabela B.1.6 – 2º Ensaio de coagulação com água pré-ozonizada

JARRO	PRODUTO QUÍMICO			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal (mg/L)	Ácido Sulfúrico (mL/L)	Sulfato de Alumínio (mg/L)		Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)
1		0,40	10	5,62	0,96	8
2		0,10	12	5,60	0,49	5
3			14	5,58	0,49	5
4			16	5,54	0,47	4
5	0,25		18	5,63	0,45	3
6	0,50		20	5,51	0,48	3

Tabela B.1.7 – 3º Ensaio de coagulação com água pré-ozonizada

JARRO	PRODUTO QUÍMICO			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal (mg/L)	Ácido Sulfúrico (mL/L)	Sulfato de Alumínio (mg/L)		Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)
1		0,10	12	5,58	0,47	4
2		0,15	12	5,50	0,56	5
3			14	5,55	0,51	5
4	0,1		14	5,62	0,47	4
5			16	5,50	0,43	3
6	0,15		16	5,60	0,32	2

**B.2.1 - Controle da concentração de ozônio transferida na
pré e pós-ozonização**

FORMULÁRIO DE CONTROLE DA OZONIZAÇÃO

ENSAIO N°: 2.1 – Fase 2 DATA: 12/04/05 EXECUTOR: Luiz e Renata

GERADOR

Potência (W) \cong 5,0

Pressão de saída (bar) = 0,5

FEED GÁS

Vazão de gás (L/h) $Q_g = 60$

Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 2$

Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 2)/60 = 2$

Volume de tiossulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 6,7$

$[O_3]_{\text{feed}}$ (mg/L) $= (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 6,7 \times 24)/2 = 8,04$

OFF GÁS

Vazão de gás (L/h) $Q_g = 60$

Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 4$

Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 4)/60 = 4$

Volume de tiossulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 3,8$

$[O_3]_{\text{off}}$ (mg/L) $= (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 3,8 \times 24)/4 = 2,28$

TRANSFERÊNCIA

Eficiência (%) $E = \{([O_3]_{\text{feed}} - [O_3]_{\text{off}})/[O_3]_{\text{feed}}\} \times 100 = \{(8,04 - 2,28)/8,04\} \times 100 = 71\%$

Água no reator: Vazão (L/h) $Q_a = 317$

Volume (L) $V_a = 11,89$

Tempo de contato do reator (min) $T = (V_a \times 60)/Q_a = (11,89 \times 60)/317 = 2,25$

Ozônio transferido para água (mg/L) $[O_3]_t$:

$[O_3]_t = (Q_g \times T \times [O_3]_{\text{feed}} \times E)/V_a \times 6000 = (60 \times 2,25 \times 8,04 \times 71)/11,89 \times 6000$

$[O_3]_t \cong 1,08 \text{mgO}_3/\text{L}$

FORMULÁRIO DE CONTROLE DA OZONIZAÇÃO**ENSAIO Nº: 2.2 – Fase 2 DATA: 15/04/05 EXECUTOR: Luiz e Renata****GERADOR**Potência (W) \cong 22,5

Pressão de saída (bar) = 0,5

FEED GÁSVazão de gás (L/h) $Q_g = 60$ Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 2$ Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 2)/60 = 2$ Volume de tiossulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 24,7$ $[O_3]_{\text{feed}} \text{ (mg/L)} = (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 24,7 \times 24)/2 = 29,65$ **OFF GÁS**Vazão de gás (L/h) $Q_g = 60$ Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 4$ Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 4)/60 = 4$ Volume de tiossulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 7,6$ $[O_3]_{\text{off}} \text{ (mg/L)} = (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 7,6 \times 24)/4 = 4,56$ **TRANSFERÊNCIA**Eficiência (%) $E = \{([O_3]_{\text{feed}} - [O_3]_{\text{off}})/[O_3]_{\text{feed}}\} \times 100 = \{(29,65 - 4,56)/28,44\} \times 100 = 85\%$ Água no reator: Vazão (L/h) $Q_a = 765$ Volume (L) $V_a = 28,18$ Tempo de contato do reator (min) $T = (V_a \times 60)/Q_a = (28,18 \times 60)/765 = 2,21$ Ozônio transferido para água (mg/L) $[O_3]_t$: $[O_3]_t = (Q_g \times T \times [O_3]_{\text{feed}} \times E)/V_a \times 6000 = (60 \times 2,21 \times 29,65 \times 85)/28,18 \times 6000$ $[O_3]_t \cong 1,96 \text{ mgO}_3/\text{L}$

FORMULÁRIO DE CONTROLE DA OZONIZAÇÃO**ENSAIO Nº: 2.3 – Fase 2 DATA: 19/04/05 EXECUTOR: Luiz e Renata****GERADOR**Potência (W) $\cong 23,5$

Pressão de saída (bar) = 0,5

FEED GÁSVazão de gás (L/h) $Q_g = 60$ Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 2$ Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 2)/60 = 2$ Volume de tiossulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 26,4$ $[O_3]_{\text{feed}} \text{ (mg/L)} = (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 26,4 \times 24)/2 = 31,68$ **OFF GÁS**Vazão de gás (L/h) $Q_g = 60$ Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 4$ Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 4)/60 = 4$ Volume de tiossulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 8,6$ $[O_3]_{\text{off}} \text{ (mg/L)} = (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 8,6 \times 24)/4 = 5,16$ **TRANSFERÊNCIA**Eficiência (%) $E = \{([O_3]_{\text{feed}} - [O_3]_{\text{off}})/[O_3]_{\text{feed}}\} \times 100 = \{(31,68 - 5,16)/31,68\} \times 100 = 84\%$ Água no reator: Vazão (L/h) $Q_a = 765$ Volume (L) $V_a = 28,18$ Tempo de contato do reator (min) $T = (V_a \times 60)/Q_a = (28,18 \times 60)/765 = 2,21$ Ozônio transferido para água (mg/L) $[O_3]_t$: $[O_3]_t = (Q_g \times T \times [O_3]_{\text{feed}} \times E)/V_a \times 6000 = (60 \times 2,21 \times 31,68 \times 84)/28,18 \times 6000$ $[O_3]_t \cong 2,08 \text{mgO}_3/\text{L}$

FORMULÁRIO DE CONTROLE DA OZONIZAÇÃO**ENSAIO Nº: 2.4 – Fase 2 DATA: 20/04/05 EXECUTOR: Luiz e Renata****GERADOR**Potência (W) \cong 5,0

Pressão de saída (bar) = 0,5

FEED GÁSVazão de gás (L/h) $Q_g = 60$ Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 2$ Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 2)/60 = 2$ Volume de tiossulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 6,9$ $[O_3]_{\text{feed}} \text{ (mg/L)} = (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 6,9 \times 24)/2 = 8,28$ **OFF GÁS**Vazão de gás (L/h) $Q_g = 60$ Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 4$ Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 4)/60 = 4$ Volume de tiossulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 3,4$ $[O_3]_{\text{off}} \text{ (mg/L)} = (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 3,4 \times 24)/4 = 2,04$ **TRANSFERÊNCIA**Eficiência (%) $E = \{([O_3]_{\text{feed}} - [O_3]_{\text{off}})/[O_3]_{\text{feed}}\} \times 100 = \{(8,28 - 2,04)/8,28\} \times 100 = 75\%$ Água no reator: Vazão (L/h) $Q_a = 317$ Volume (L) $V_a = 11,89$ Tempo de contato do reator (min) $T = (V_a \times 60)/Q_a = (11,84 \times 60)/317 = 2,25$ Ozônio transferido para água (mg/L) $[O_3]_t$: $[O_3]_t = (Q_g \times T \times [O_3]_{\text{feed}} \times E)/V_a \times 6000 = (60 \times 2,25 \times 8,28 \times 75)/11,89 \times 6000$ $[O_3]_t \cong 1,18 \text{ mgO}_3/\text{L}$

B.2.2 – Planilhas de acompanhamento das carreiras de filtração da fase experimental

Tabela B.2.1 – 1º Carreira de filtração (filtração direta descendente e pós-ozonização) – Ensaio 2.1

Água bruta: Lagoa do Peri									Dosagem de coagulante (mg/L): $\cong 16$ (sulfato de alumínio – SA)						
Vazão de alimentação do filtro (L/hora): $\cong 321,5$									Dosagem de alcalinizante (mg/L):						
Taxa (m ³ /m ² .dia): $\cong 200$									Dosagem de acidificante (mL/L): $\cong 0,1 \Rightarrow \text{pH} = 5,6$						
Obs: Ensaio 1 – 2ª Fase – Filtração Direta e Pós-Ozonização - Realizado em 12/04/05 - Operadores: Dimas, Luiz e Renata															
Pré-ozonização		[O ₃]transf. para água:			[O ₃]dissol. água:				Pós-ozonização		[O ₃]transf. para água: 1,08 mgO ₃ /L		[O ₃]dissol. água: mgO ₃ /L		
Data e Hora/ Observação		Leitura dos piezômetros (cm)							Parâmetro		Ponto de coleta				
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7			P8	Bruta	Pré-O ₃	Coag.	Filtrada
12h15min		27,4	15,4	14,0	12,3	11,1	7,2	4,0	3,2	Turbidez (uT)	6,25			0,56	0,53
										Cor aparente (uH)	73			6	6
										pH	6,87		5,66	5,05	5,15
										Temperatura (°C)	27,3				
12h45min		39,0	15,4	14,0	12,3	11,1	7,2	4,0	3,2	Turbidez (uT)	5,22			0,62	0,50
										Cor aparente (uH)	74			9	6
										pH	6,74		5,49	4,87	4,90
										Temperatura (°C)	27,3				
13h15min (1 hora) Foi elevada a dosagem de S.A. para 18,5mg/L		54,0	15,4	14,0	12,3	11,1	7,2	4,0	3,2	Turbidez (uT)	5,47			0,87	0,59
										Cor aparente (uH)	89			15	7
										pH	6,75		5,56	4,86	4,92
										Temperatura (°C)	27,3				
14h15min (2 horas)		87,9	15,4	14,0	12,3	11,1	7,2	4,0	3,2	Turbidez (uT)	5,81			0,58	0,50
										Cor aparente (uH)	79			6	2
										pH	6,88		5,59	5,05	5,07
										Temperatura (°C)	27,5				
15h15min (3 horas)		121,0	15,8	14,0	12,3	11,1	7,2	4,0	3,2	Turbidez (uT)	5,87			0,51	0,43
										Cor aparente (uH)	81			4	< 1
										pH	6,84		5,65	4,88	4.96
										Temperatura (°C)	27,3				

< 1 = valor menor do que 1 uH

Data e Hora/ Observação	Leitura dos piezômetros (cm)								Parâmetro	Ponto de coleta				
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		Bruta	Pré-O ₃	Coag.	Filtrada	Pós-O ₃
16h15min (4 horas)	147,0	17,2	14,2	12,5	11,2	7,2	4,0	3,2	Turbidez (uT)	5,76			0,53	0,42
									Cor aparente (uH)	81			9	< 1
									pH	6,91		5,65	5,01	4,98
									Temperatura (°C)	27,2				
17h15min (5 horas)	176,9	20,1	14,3	12,5	11,7	7,2	4,0	3,2	Turbidez (uT)	5,87			0,51	0,45
									Cor aparente (uH)	81			7	1
									pH	6,84		5,45	4,88	4,90
									Temperatura (°C)					
18h13min (5,98 horas)	200,0	24,9	14,6	12,7	11,7	7,4	4,0	3,2	Turbidez (uT)	5,66			0,44	0,44
									Cor aparente (uH)	85			7	< 1
									pH	6,80		5,43	5,09	4,98
									Temperatura (°C)	27,0				
									Turbidez (uT)					
									Cor aparente (uH)					
									pH					
									Temperatura (°C)					
									Turbidez (uT)					
									Cor aparente (uH)					
									pH					
									Temperatura (°C)					
									Turbidez (uT)					
									Cor aparente (uH)					
									pH					
									Temperatura (°C)					

< 1 = valor menor do que 1 uH

Tabela B.2.2 – 2º Carreira de filtração (pré-ozonização e filtração direta descendente) – Ensaio 2.2

Água bruta: Pré-ozonizada (Lagoa do Peri)									Dosagem de coagulante (mg/L): \cong 12 (sulfato de alumínio – SA)						
Vazão de alimentação do filtro (L/hora): \cong 321,5									Dosagem de alcalinizante (mg/L):						
Taxa (m ³ /m ² .dia): \cong 200									Dosagem de acidificante (mL/L): \cong 0,1 \Rightarrow pH = 5,6						
Obs: Ensaio 2 – Pré-Ozonização e Filtração Direta - Realizado em 15/04/05 -									Operadores: Dimas, Luiz e Renata						
Pré-ozonização		[O ₃]transf. para água: 1,9mgO ₃ /L			[O ₃]dissol. água: mgO ₃ /L			Pós-ozonização		[O ₃]transf. para água:			[O ₃]dissol. água:		
Data e Hora/ Observação		Leitura dos piezômetros (cm)							Parâmetro		Ponto de coleta				
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7			P8	Bruta	Pré-O ₃	Coag.	Filtrada
12h25min		24,3	15,7	14,3	12,7	11,5	7,4	4,3	3,3	Turbidez (uT)	5,48	2,54		0,58	
										Cor aparente (uH)	76	5		< 1	
										pH	6,91	6,81	5,58	4,85	
										Temperatura (°C)	27,7				
12h55min		34,1	15,7	14,3	12,7	11,5	7,4	4,3	3,3	Turbidez (uT)	5,60	3,14		0,37	
										Cor aparente (uH)	73	36		6	
										pH	6,92	6,83	5,89	4,97	
										Temperatura (°C)	27,7				
13h25min (1 hora)		46,7	15,7	14,3	12,7	11,5	7,4	4,3	3,4	Turbidez (uT)	6,13	2,53		0,39	
										Cor aparente (uH)	77	39		1	
										pH	6,86	6,73	5,70	4,90	
										Temperatura (°C)	28,6				
14h25min (2 horas)		75,2	16,0	14,4	12,7	11,5	7,4	4,3	3,4	Turbidez (uT)	5,95	3,01		0,34	
										Cor aparente (uH)	59	17		< 1	
										pH	7,13	6,79	5,68	5,07	
										Temperatura (°C)	28,8				
15h25min (3 horas)		96,0	16,0	14,5	12,7	11,5	7,4	4,3	3,4	Turbidez (uT)	5,31	2,91		0,34	
										Cor aparente (uH)	86	40		3	
										pH	6,89	6,86	5,68	5,11	
										Temperatura (°C)	29,1				
16h25min (4 horas)		123,7	16,2	14,5	12,7	11,5	7,4	4,3	3,4	Turbidez (uT)	4,82	2,85		0,31	
										Cor aparente (uH)	77	28		2	
										pH	6,89	6,81	5,65	5,06	
										Temperatura (°C)	29,5				

< 1 = valor menor do que 1 uH

Data e Hora/ Observação	Leitura dos piezômetros (cm)								Parâmetro	Ponto de coleta				
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		Bruta	Pré-O ₃	Coag.	Filtrada	Pós-O ₃
17h25min (5 horas)	150,0	16,6	14,5	12,7	11,5	7,4	4,3	3,4	Turbidez (uT)	7,10	2,84		0,31	
									Cor aparente (uH)	85	31		3	
									pH	7,02	6,88	5,51	5,04	
									Temperatura (°C)	29,6				
18h25min (6 horas)	178,0	17,2	14,6	12,7	11,5	7,4	4,3	3,4	Turbidez (uT)	6,46	2,74		0,30	
									Cor aparente (uH)	70	27		< 1	
									pH	7,00	6,86	5,65	5,08	
									Temperatura (°C)	28,3				
19h25min (7 horas)	200,0	18,6	15,0	12,8	11,5	7,4	4,3	3,4	Turbidez (uT)	6,86	2,90		0,30	
									Cor aparente (uH)	74	28		1	
									pH	7,04	6,95	5,63	5,06	
									Temperatura (°C)	28,3				
									Turbidez (uT)					
									Cor aparente (uH)					
									pH					
									Temperatura (°C)					
									Turbidez (uT)					
									Cor aparente (uH)					
									pH					
									Temperatura (°C)					
									Turbidez (uT)					
									Cor aparente (uH)					
									pH					
									Temperatura (°C)					

< 1 = valor menor do que 1 uH

Tabela B.2.3 – 3º Carreira de filtração (pré-ozonização e filtração direta descendente) – Ensaio 2.3

Água bruta: Pré-ozonizada (Lagoa do Peri)									Dosagem de coagulante (mg/L): $\cong 10$						
Vazão de alimentação do filtro (L/hora): $\cong 321,5$									Dosagem de alcalinizante (mg/L):						
Taxa (m ³ /m ² .dia): $\cong 200$									Dosagem de acidificante (mL/L): $\cong 0,1 \Rightarrow \text{pH} = 5,6$						
Obs: Ensaio 3 – Pré-Ozonização e Filtração Direta Realizado em 19/04/05 - Operadores: Dimas, Luiz e Renata															
Pré-ozonização		[O ₃]transf. para água: 2,08 mgO ₃ /L			[O ₃]dissol. água: 0,12 mgO ₃ /L				Pós-ozonização		[O ₃]transf. para água:			[O ₃]dissol. água:	
Data e Hora/ Observação		Leitura dos piezômetros (cm)							Parâmetro		Ponto de coleta				
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7			P8	Bruta	Pré-O ₃	Coag.	Filtrada
13h45min		22,7	16,3	14,9	13,2	11,9	7,6	4,2	3,4	Turbidez (uT)	5,35	2,65		0,57	
										Cor aparente (uH)	72	20		< 1	
										pH	6,96	6,74	5,72	5,08	
										Temperatura (°C)	27,8				
14h15min		32,4	16,4	14,9	13,2	11,9	7,6	4,2	3,4	Turbidez (uT)	5,58	2,60		0,48	
										Cor aparente (uH)	73	23		< 1	
										pH	6,80	6,85	5,64	5,05	
										Temperatura (°C)	27,6				
14h 45min (1 hora) Foi diminuída a dosagem de S.A. para 9,0mg/L		42,8	16,7	15,2	13,3	11,9	7,6	4,2	3,4	Turbidez (uT)	6,01	2,70		0,46	
										Cor aparente (uH)	80	27		2	
										pH	6,93	6,64	5,62	5,10	
										Temperatura (°C)	27,3				
15h45min (2 horas)		65,2	17,3	15,4	13,4	12,2	7,7	4,3	3,4	Turbidez (uT)	5,67	2,48		0,47	
										Cor aparente (uH)	77	23		< 1	
										pH	7,09	6,94	5,70	5,31	
										Temperatura (°C)	26,8				
16h45min (3 horas)		85,6	17,8	15,7	13,6	12,3	7,8	4,3	3,4	Turbidez (uT)	6,86	2,97		0,57	
										Cor aparente (uH)	84	28		3	
										pH	7,11	6,91	5,79	5,31	
										Temperatura (°C)	26,4				
17h45min (4 horas)		106,2	18,3	16,0	13,8	12,5	7,8	4,3	3,4	Turbidez (uT)	6,47	2,60		0,53	
										Cor aparente (uH)	77	26		2	
										pH	7,07	6,98	5,62	5,39	
										Temperatura (°C)	26,0	26,3			

< 1 = valor menor do que 1 uH

Data e Hora/ Observação	Leitura dos piezômetros (cm)								Parâmetro	Ponto de coleta				
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		Bruta	Pré-O ₃	Coag.	Filtrada	Pós-O ₃
18h45min (5 horas)	130,0	18,6	16,0	13,8	12,5	7,8	4,3	3,4	Turbidez (uT)	5,70	3,09		0,51	
									Cor aparente (uH)	80	30		< 1	
									pH	6,97	6,42	5,57	5,31	
									Temperatura (°C)	26,0				
19h45min (6 horas)	154,5	19,5	16,4	14,0	12,6	7,8	4,3	3,4	Turbidez (uT)	5,98	2,76		0,47	
									Cor aparente (uH)	88	26		3	
									pH	6,97	6,88	5,58	5,38	
									Temperatura (°C)	26,0				
20h45min (7 horas)	178,0	20,3	16,5	14,0	12,6	7,8	4,3	3,4	Turbidez (uT)	7,04	2,82		0,45	
									Cor aparente (uH)	91	26		2	
									pH	7,01	6,91	5,58	5,31	
									Temperatura (°C)	25,9				
21h50min (8,25 horas)	200,0	21,4	16,6	14,1	12,6	7,8	4,3	3,4	Turbidez (uT)	6,69	2,66		0,48	
									Cor aparente (uH)	81	30		2	
									pH	7,01	6,88	5,64	5,42	
									Temperatura (°C)	25,6				
									Turbidez (uT)					
									Cor aparente (uH)					
									pH					
									Temperatura (°C)					
									Turbidez (uT)					
									Cor aparente (uH)					
									pH					
									Temperatura (°C)					

< 1 = valor menor do que 1 uH

Tabela B.2.4 – 4º Carreira de filtração (filtração direta descendente e pós-ozonização) – Ensaio 2.4

Água bruta: Lagoa do Peri									Dosagem de coagulante (mg/L): \cong 19,5						
Vazão de alimentação do filtro (L/hora): \cong 321,5									Dosagem de alcalinizante (mg/L):						
Taxa (m ³ /m ² .dia): \cong 200									Dosagem de acidificante (mL/L): \cong 0,1 \Rightarrow pH = 5,6						
Obs: Ensaio 4 – Filtração Direta e Pós-Ozonização - Realizado em 20/04/05 -									Operadores: Dimas, Luiz e Renata						
Pré-ozonização		[O ₃]transf. para água:			[O ₃]dissol. água:				Pós-ozonização		[O ₃]transf. para água: 0,8 mgO ₃ /L		[O ₃]dissol. água: 0,58 mgO ₃ /L		
Data e Hora/ Observação		Leitura dos piezômetros (cm)							Parâmetro		Ponto de coleta				
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7			P8	Bruta	Pré-O ₃	Coag.	Filtrada
16h30min		26,4	16,4	15,0	13,1	11,7	7,5	4,1	3,1	Turbidez (uT)	5,85			0,59	0,66
										Cor aparente (uH)	78			7	5
										pH	6,73		5,39	5,16	5,25
										Temperatura (°C)	25,5				
17h00min		42,5	16,5	15,1	13,2	11,8	7,5	4,1	3,1	Turbidez (uT)	6,25			0,69	0,50
										Cor aparente (uH)	82			8	5
										pH	6,84		5,52	5,12	5,00
										Temperatura (°C)	25,4				
17h30min (1 hora) Foi elevada a dosagem de S.A. para 20,5mg/L		60,5	17,0	15,4	13,3	12,1	7,6	4,1	3,1	Turbidez (uT)	6,71			0,65	0,53
										Cor aparente (uH)	80			7	4
										pH	6,83		5,53	5,13	4,99
										Temperatura (°C)	25,3				
18h30min (2 horas)		92,3	17,7	15,7	13,6	12,3	7,7	4,2	3,2	Turbidez (uT)	5,32			0,48	0,39
										Cor aparente (uH)	77			6	3
										pH	6,77		5,61	5,17	5,01
										Temperatura (°C)	25,4				
19h30min (3 horas)		123,2	17,7	15,7	13,6	12,3	7,7	4,2	3,2	Turbidez (uT)	5,06			0,49	0,39
										Cor aparente (uH)	76			5	2
										pH	6,76		5,34	5,04	4,93
										Temperatura (°C)	25,3				
20h30min (4 horas)		160,0	23,8	16,0	13,7	12,4	7,7	4,2	3,2	Turbidez (uT)	6,18			0,39	0,36
										Cor aparente (uH)	81			3	4
										pH	6,85		5,48	5,11	4,93
										Temperatura (°C)	25,3				

Data e Hora/ Observação	Leitura dos piezômetros (cm)								Parâmetro	Ponto de coleta				
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		Bruta	Pré-O ₃	Coag.	Filtrada	Pós-O ₃
21h30min (5 horas)	180,0	28,0	16,4	13,8	12,5	7,7	4,2	3,2	Turbidez (uT)	5,40			0,39	0,36
									Cor aparente (uH)	73			4	4
									pH	6,92		5,49	5,17	4,97
									Temperatura (°C)	25,3				
21h25min (5,92 horas)	200,0	30,0	16,5	13,9	12,5	7,7	4,2	3,2	Turbidez (uT)	5,42			0,38	0,36
									Cor aparente (uH)	73			4	4
									pH	6,90		5,51	5,13	4,93
									Temperatura (°C)	25,3				
									Turbidez (uT)					
									Cor aparente (uH)					
									pH					
									Temperatura (°C)					
									Turbidez (uT)					
									Cor aparente (uH)					
									pH					
									Temperatura (°C)					
									Turbidez (uT)					
									Cor aparente (uH)					
									pH					
									Temperatura (°C)					

B.2.3 - Qualidade da água nas diferentes etapas das seqüências de tratamento

A tabela B.2.5 apresenta os valores dos parâmetros de qualidade de água analisados nas amostras de água (diferentes etapas das seqüências de tratamento) coletadas quando o filtro atingia a 1 m de perda de carga - Ensaios 2.1 e 2.2.

Tabela B.2.5 – Parâmetros analisados nas amostras de água das diferentes etapas das seqüências de tratamento dos Ensaios 2.1 e 2.2

Ensaios	Parâmetros		Água Bruta	Água Pré-O ₃	Água Filtrada	Água Pós-O ₃
Ensaio 2.1 (12/04/05)	Turbidez	uT	5,87		0,51	0,43
	Cor aparente	uH	80		4	< 1
	Cor verdadeira	uH	6		< 1	< 1
	pH		6,84		4,88	4,96
	Temperatura	°C	27,3		----	----
	Sólidos Totais Dissolvidos	mg/L	39		43	42
	Condutividade elétrica	µS/cm	78		86	84
	Alcalinidade total	mg/L	7,7		----	----
	COT	mg/L	9,8		2,5	2,3
	Clorofila <i>a</i>	µg/L	34,40		5,18	3,70
	Cianobactérias	Ind./mL	110998		8621	2497
		Cél./mL	1122652		71284	23781
Ensaio 2.2 (15/04/05)	Turbidez	uT	5,31	2,91	0,34	
	Cor aparente	uH	86	40	3	
	Cor verdadeira	uH	8	2	< 1	
	pH		6,89	6,86	5,11	
	Temperatura	°C	29,5	----	----	
	Sólidos Totais Dissolvidos	mg/L	38	38	39	
	Condutividade elétrica	µS/cm	76	76	78	
	Alcalinidade total	mg/L	6,8	----	----	
	COT	mg/L	7,9	5,4	1,8	
	Clorofila <i>a</i>	µg/L	36,60	7,10	3,10	
	Cianobactérias	Ind./mL	136622	31094	640	
		Cél./mL	1339952	413021	6318	

Pré- O₃ = Pré-Ozonizada; Pós-O₃ = Pós-Ozonizada;

< 1 = valor menor do que 1 uH

A tabela B.2.6 apresenta os valores dos parâmetros de qualidade de água analisados nas amostras de água (diferentes etapas das seqüências de tratamento) coletadas quando o filtro atingia a 1 m de perda de carga - Ensaio 2.3 e 2.4.

Tabela B.2.6 – Parâmetros analisados nas amostras de água das diferentes etapas das seqüências de tratamento dos Ensaio 2.3 e 2.4

Ensaio	Parâmetros		Água Bruta	Água Pré-O ₃	Água Filtrada	Água Pós-O ₃
Ensaio 2.3 (19/04/05)	Turbidez	UT	6,47	2,60	0,53	
	Cor aparente	UH	77	26	2	
	Cor verdadeira	UH	5	1	< 1	
	pH		7,07	6,98	5,39	
	Temperatura	°C	26,0	26,3	----	
	Sólidos Totais Dissolvidos	Mg/L	39	40	43	
	Condutividade elétrica	µS/cm	78	80	86	
	Alcalinidade total	Mg/L	7,0	----	----	
	COT	mg/L	8,0	6,9	1,9	
	Clorofila <i>a</i>	µg/L	35,30	6,19	2,70	
	Cianobactérias	Ind./mL	155768	38804	683	
		Cél./mL	1277408	464887	3122	
Ensaio 2.4 (20/04/05)	Turbidez	uT	5,32		0,48	0,45
	Cor aparente	uH	77		6	2
	Cor verdadeira	uH	5		< 1	< 1
	pH		6,77		5,17	5,30
	Temperatura	°C	25,4		----	----
	Sólidos Totais Dissolvidos	mg/L	40		45	40
	Condutividade elétrica	µS/cm	80		90	81
	Alcalinidade total	mg/L	7,2		----	----
	COT	mg/L	7,0		4,6	2,9
	Clorofila <i>a</i>	µg/L	27,90		5,12	2,90
	Cianobactérias	Ind./mL	131273		10781	2424
		Cél./mL	1053152		139746	12760

Pré- O₃ = Pré-Ozonizada; Pós-O₃ = Pós-Ozonizada;
< 1 = valor menor do que 1 uH

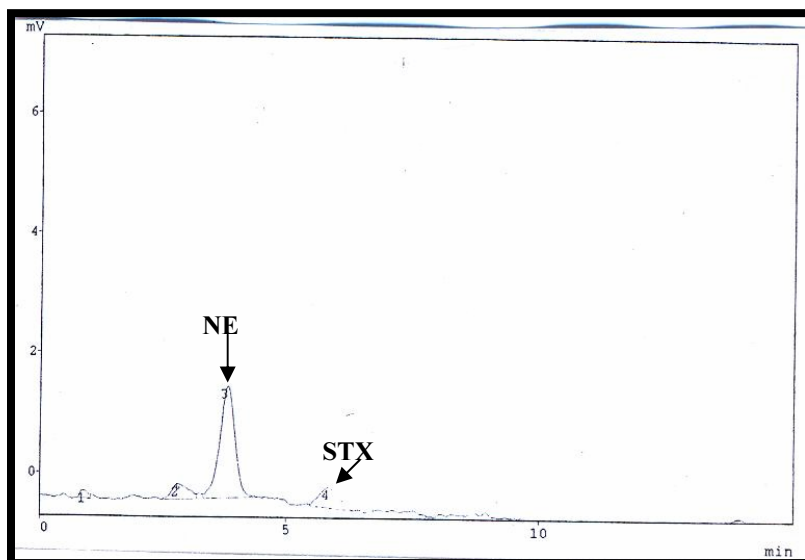
B.2.4 - Cálculo da concentração de saxitoxinas em amostras de água coletadas nas diferentes etapas das seqüências de tratamento investigadas – Ensaios da Fase 2

– Determinação do fator concentração/área para o cromatograma dos padrões de saxitoxinas

1.1 – NEO e STX

Cromatograma dos padrões de NEO e STX

A figura B.1 apresenta o cromatograma do “mix de padrões” contendo as saxitoxinas NEO e STX.



toxina	Tempo	área
NEO	3,810	38748
STX	5,843	9195

Figura B.1: Cromatograma do padrão de NEO e STX

Cálculo do fator concentração/área para NEO

Concentração do padrão de NEO

→ $25,23\mu\text{g}/\text{L} = 25,23\text{pg}/\mu\text{L}$

Volume injetado do padrão

→ $25\mu\text{L}$

No volume injetado tem-se

→ $630,75\text{pg}$ de NEO

Analisando o cromatograma do padrão, verifica-se que o pico para NEO apresenta uma área de 38748. Esta área corresponde a $630,75\text{pg}$ de NEO. Assim, em uma unidade de área tem-se $0,01628\text{pg}$ de NEO.

O Fator concentração/área da NEO para o cromatograma do padrão é $0,01628\text{pg}/\text{área}$

Cálculo do fator concentração/área para STX

Concentração do padrão de NEO

→ $24,19\mu\text{g}/\text{L} = 24,19\text{pg}/\mu\text{L}$

Volume injetado do padrão

→ 25µL
 No volume injetado tem-se
 → 604,75pg de STX

Analisando o cromatograma do padrão, verifica-se que o pico para STX apresenta uma área de 9195. Esta área corresponde a 604,75pg de STX. Assim, em uma unidade de área tem-se 0,06577pg de STX.

O Fator concentração/área da STX para o cromatograma do padrão é 0,06577pg/área

- Determinação da concentração de saxitoxinas nas amostras de água das diferentes etapas das seqüências de tratamento investigadas

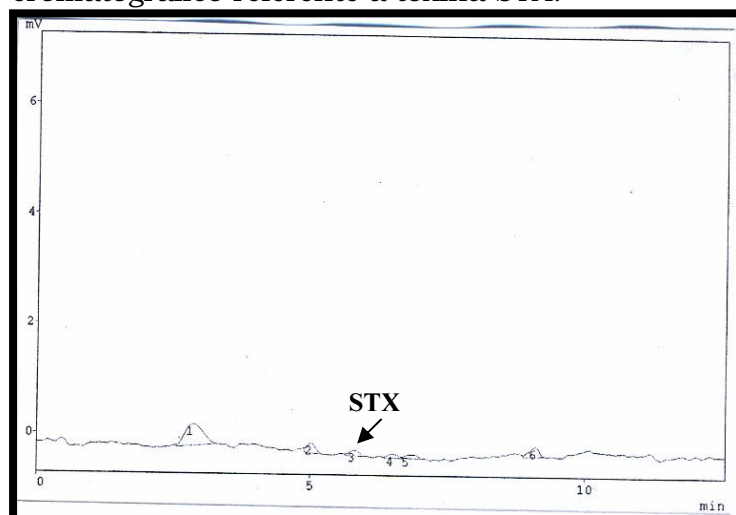
Os cromatogramas das amostras de água foram comparados ao cromatograma do “mix de padrões” de saxitoxinas, composto por NEO e STX.

Ensaio 2.1 – Seqüência de tratamento composta de filtração direta descendente e pós-ozonização realizada em 12/04/05.

Análise cromatográfica em relação à NEO e STX

Amostra: Água bruta (12/04/05)

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água bruta do ensaio 2.1 (concentração total), apresentado na figura B.2, identifica-se apenas o pico cromatográfico referente à toxina STX.



toxina	tempo	Área
STX	5,183	1245

Figura B.2: Cromatograma da água bruta (concentração total) – Ensaio 2.1

STX

Área STX: 1245

Área x Fator = Área x Fator STX = 1245área x 0,06577pg/área = 81,88pg

Volume de amostra injetado – 25µL

81,88pg → 25µL
 X pg → 1000000µL

$X = 3275200,00 \mu\text{g}$ em 1L

$X = 3275200,00 \mu\text{g/L} \cong 3,28 \mu\text{g/L}$

STX = 3,28 $\mu\text{g/L}$

Considerando a concentração de saxitoxina encontrada para amostra da água bruta do Ensaio 2.1 (concentração total), pode-se expressar a concentração em equivalentes de saxitoxina para esta amostra conforme a tabela B.2.7.

Tabela B.2.7 - Concentração de saxitoxinas para amostra de água bruta (concentração total) do Ensaio 2.1

Toxina	Toxicidade relativa	Concentração ($\mu\text{g/L}$)	Concentração ($\mu\text{g/L}$ eq. STX)
STX	1,0000	3,28	3,28
		Total	3,28

Amostra: Água filtrada (12/04/05)

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água filtrada do ensaio 2.1 (concentração total), apresentado na figura B.3, não se identificam picos cromatográficos referentes às toxinas analisadas.

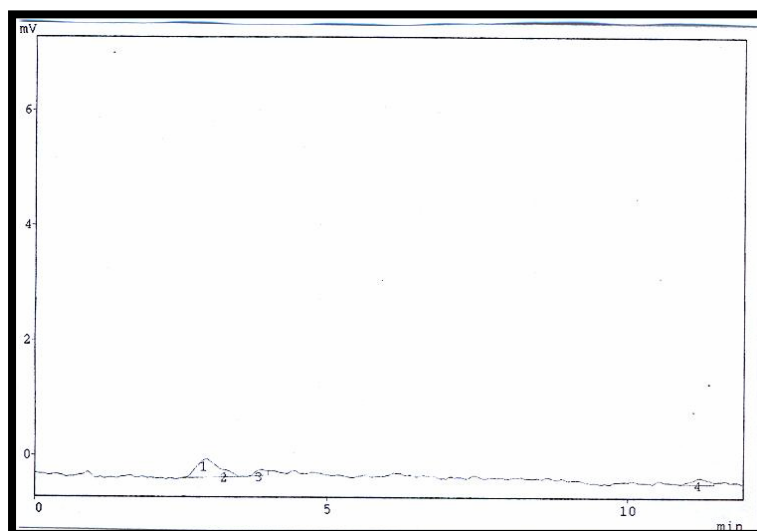


Figura B.3: Cromatograma da água filtrada (concentração total) – Ensaio 2.1

Amostra: Água pós-ozonizada (12/04/05)

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água pós-ozonizada do ensaio 2.1 (concentração total), apresentado na figura B.4, não se identificam picos cromatográficos referentes às toxinas analisadas.

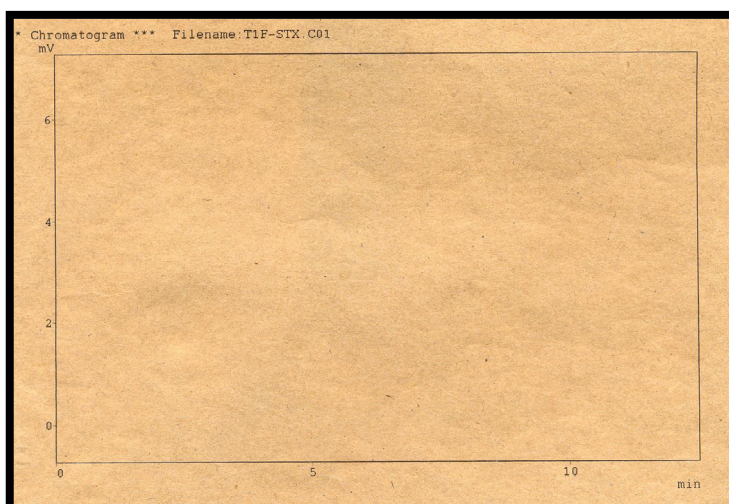


Figura B.4: Cromatograma da água pós-ozonizada (concentração total) – Ensaio 2.1

A tabela B.2.8 apresenta os valores de concentração de saxitoxinas (concentração total) analisadas nas amostras de água das diferentes etapas da sequência de tratamento do Ensaio 2.1, composta por filtração direta descendente seguida de pós-ozonização.

Tabela B.2.8 – Concentração (total) de saxitoxinas analisadas nas amostras de água das diferentes etapas da sequência de tratamento do Ensaio 2.1

Toxina (concentração total)		Água Bruta	Água Filtrada	Água Pós-O ₃
NEO	(µg/L)	ND	ND	ND
	(µg/L eq. STX)			
STX	(µg/L)	3,28	ND	ND
	(µg/L eq. STX)			
Total µg/L eq. STX		3,28	ND	ND

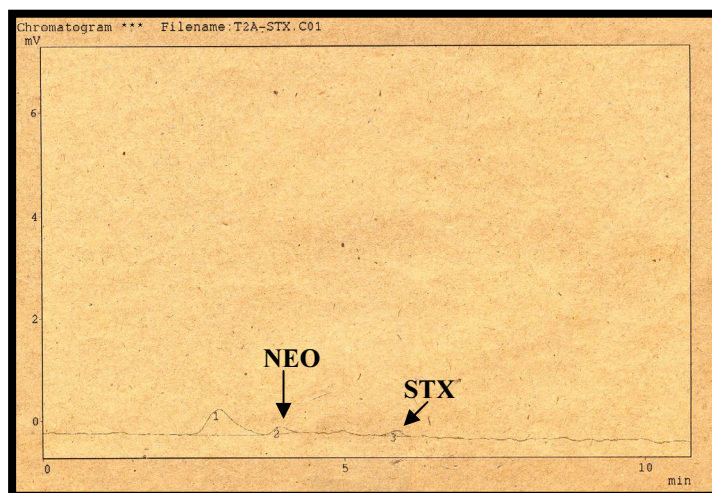
Pós-O₃ = Pós-Ozonizada; ND = Não Detectado;

Ensaio 2.2 – Sequência de tratamento composta de pré-ozonização e filtração direta (descendente) realizada em 15/04/05.

Análise cromatográfica em relação à NEO e STX

Amostra: Água bruta (15/04/05)

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água bruta do ensaio 2.2 (concentração total), apresentado na figura B.5, identificam-se picos cromatográficos referentes às toxinas NEO e STX.



toxina	tempo	Área
NEO	3,903	2221
STX	5,849	1554

Figura B.5: Cromatograma da água bruta (concentração total) – Ensaio 2.2

NEO

Área NEO: 2221

Área x Fator = Área x Fator NEO = 2221 área x 0,01628pg/área = 36,16pg

Volume de amostra injetado – 25μL

$$\begin{array}{lcl} 36,16\text{pg} \rightarrow & & 25\mu\text{L} \\ X \text{ pg} \rightarrow & & 1000000\mu\text{L} \end{array}$$

X = 1448092,00pg em 1L

X = 1448092,00pg/L \cong 1,45μg/L

NEO = 1,45μg/L

STX

Área STX: 1554

Área x Fator = Área x Fator STX = 1554 área x 0,06577pg/área = 102,21pg

Volume de amostra injetado – 25μL

$$\begin{array}{lcl} 102,21\text{pg} \rightarrow & & 25\mu\text{L} \\ X \text{ pg} \rightarrow & & 1000000\mu\text{L} \end{array}$$

X = 4088400,00pg em 1L

X = 4088400,00pg/L \cong 4,09μg/L

STX = 4,09μg/L

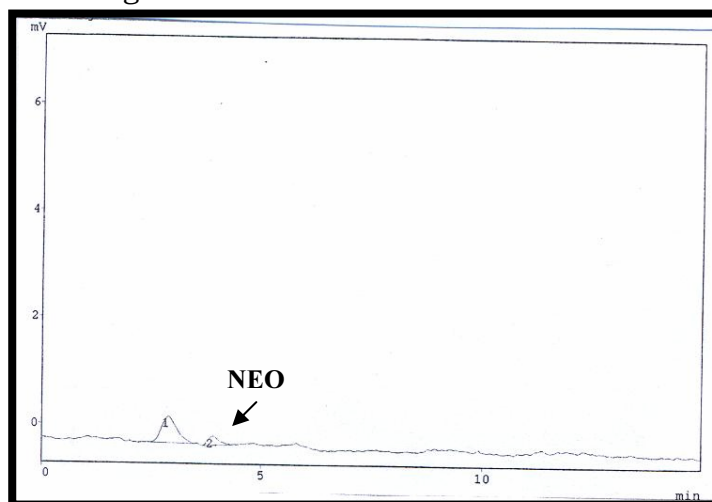
Considerando a concentração de saxitoxinas encontrada na amostra da água bruta do Ensaio 2.2 (concentração total), pode-se expressar a concentração em equivalentes de saxitoxina para esta amostra conforme a tabela B.2.9.

Tabela B.2.9 - Concentração de saxitoxinas para amostra de água bruta (concentração total) do Ensaio 2.2

Toxina	Toxicidade relativa	Concentração (µg/L)	Concentração (µg/L eq. STX)
NEO	0,924	1,45	1,34
STX	1,0000	4,09	4,09
		Total	5,43

Amostra: Água pré-ozonizada (15/04/05)

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água pré-ozonizada do ensaio 2.2 (concentração total), apresentado na figura B.6, identifica-se apenas o pico cromatográfico referente à toxina NEO.



toxina	tempo	Área
NEO	3,883	2917

Figura B.6: Cromatograma da água pré-ozonizada (concentração total) – Ensaio 2.2

NEO

Área NEO: 2917

Área x Fator = Área x Fator NEO = 2917 área x 0,01628pg/área = 47,49pg

Volume de amostra injetado – 25µL

$$\begin{array}{lcl} 47,49\text{pg} \rightarrow & 25\mu\text{L} \\ X \text{ pg} \rightarrow & 1000000\mu\text{L} \end{array}$$

X = 1899600,00pg em 1 L

X = 1899600,00pg/L \cong 1,90µg/L

NEO = 1,90µg/L

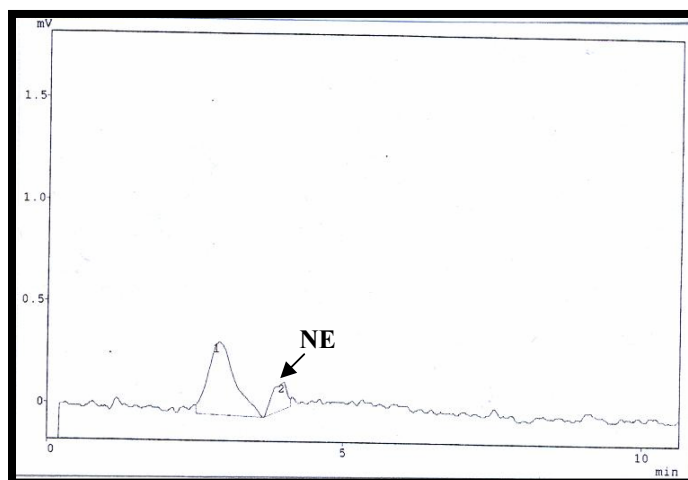
Considerando a concentração da variante de saxitoxina encontrada na amostra da água pré-ozonizada do Ensaio 2.2 (concentração total), pode-se expressar a concentração em equivalentes de saxitoxina para esta amostra conforme a tabela B.2.10.

Tabela B.2.10 - Concentração de saxitoxinas para amostra de água pré-ozonizada (concentração total) do Ensaio 2.2

Toxina	Toxicidade relativa	Concentração (µg/L)	Concentração (µg/L eq. STX)
NEO	0,924	1,90	1,76
		Total	1,76

Amostra: Água filtrada (15/04/05)

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água filtrada do ensaio 2.2 (concentração total), apresentado na figura B.7, identifica-se apenas o pico cromatográfico referente à toxina NEO.



toxina	tempo	Área
NEO	4,007	2397

Figura B.7: Cromatograma da água filtrada (concentração total) – Ensaio 2.2

NEO

Área NEO: 2397

Área x Fator = Área x Fator NEO = 2397 área x 0,01628pg/área = 39,02pg

Volume de amostra injetado – 25µL

$$\begin{array}{lcl} 39,02\text{pg} \rightarrow & 25\mu\text{L} \\ X \text{ pg} \rightarrow & 1000000\mu\text{L} \end{array}$$

X = 1560800,00pg em 1L

X = 1560800,00pg/L \cong 1,56µg/L

NEO = 1,56µg/L

Considerando a concentração da variante de saxitoxina encontrada na amostra da água filtrada do Ensaio 2.2 (concentração total), pode-se expressar a concentração em equivalentes de saxitoxina para esta amostra conforme a tabela B.2.11.

Tabela B.2.11 - Cromatograma da água filtrada (total) – Ensaio 2.2

Toxina	Toxicidade relativa	Concentração (µg/L)	Concentração (µg/L eq. STX)
NEO	0,924	1,56	1,44
		Total	1,44

A tabela B.2.12 apresenta os valores de concentração (total) de saxitoxinas analisadas nas amostras de água das diferentes etapas da sequência de tratamento do Ensaio 2.2, composta por pré-ozonização e filtração direta descendente.

Tabela B.2.12 – Concentração (total) de saxitoxinas analisadas nas amostras de água das diferentes etapas da sequência de tratamento do Ensaio 2.2

Toxina (concentração total)		Água Bruta	Água Pré-O ₃	Água Filtrada
NEO	(µg/L)	1,45	1,90	1,56
	(µg/L eq. STX)	1,34	1,76	1,44
STX	(µg/L)	4,09	ND	ND
	(µg/L eq. STX)			
Total µg/L eq. STX		5,43	1,76	1,44

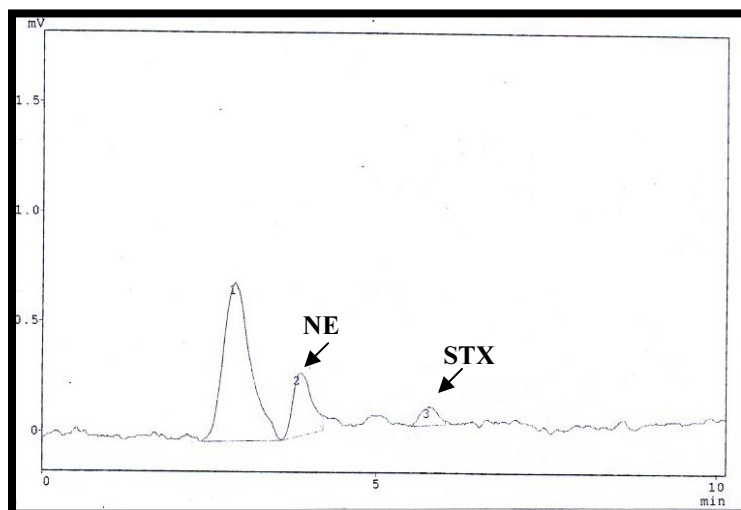
Pré-O₃ = Pré-Ozonizada; ND = Não Detectado;

Ensaio 2.3 – Sequência de tratamento composta de pré-ozonização e filtração direta descendente realizada em 19/04/05.

Análise cromatográfica em relação à NEO e STX

Amostra: Água bruta (19/04/05)

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água bruta do ensaio 2.3 (concentração total), apresentado na figura B.8, identificam-se picos cromatográficos referentes às toxinas NEO e STX.



toxina	tempo	Área
NEO	3,840	5695
STX	5,767	1507

Figura B.8: Cromatograma da água bruta (concentração total) – Ensaio 2.3

NEO

Área NEO: 5695

Área x Fator = Área x Fator NEO = 5695 área x 0,01628pg/área = 92,71pg

Volume de amostra injetado – 25µL

$$\begin{array}{lcl} 92,71\mu\text{g} \rightarrow & 25\mu\text{L} & \\ X \mu\text{g} \rightarrow & 1000000\mu\text{L} & \end{array}$$

$$X = 3708400,00\mu\text{g em 1L}$$

$$X = 3708400,00\mu\text{g/L} \cong 3,71\mu\text{g/L}$$

$$\text{NEO} = 3,71\mu\text{g/L}$$

STX

Área STX: 1507

$$\text{Área} \times \text{Fator} = \text{Área} \times \text{Fator STX} = 1507 \text{ área} \times 0,06577\mu\text{g/área} = 99,12\mu\text{g}$$

Volume de amostra injetado – 25 μL

$$\begin{array}{rcl} 99,12\mu\text{g} & \rightarrow & 25\mu\text{L} \\ X \mu\text{g} & \rightarrow & 1000000\mu\text{L} \end{array}$$

$$X = 3964800,00\mu\text{g em 1L}$$

$$X = 3964800,00\mu\text{g/L} \cong 3,96\mu\text{g/L}$$

$$\text{STX} = 3,96\mu\text{g/L}$$

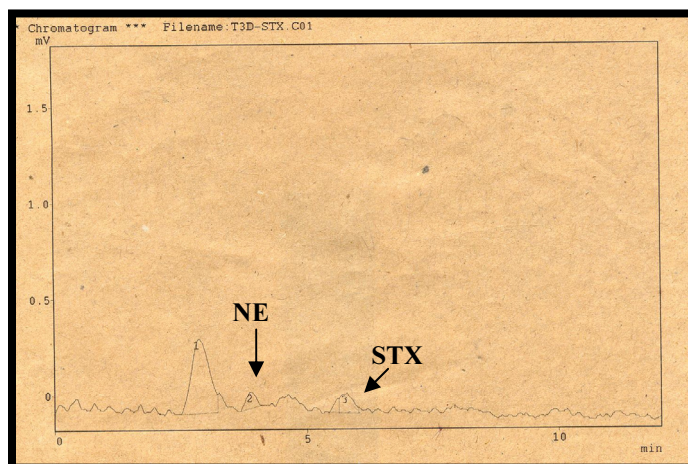
Considerando a concentração de saxitoxinas encontrada na amostra da água bruta do Ensaio 2.3 (concentração total), pode-se expressar a concentração em equivalentes de saxitoxina para esta amostra conforme a tabela B.2.13.

Tabela B.2.13 - Concentração de saxitoxinas para amostra de água bruta (total) do Ensaio 2.3

Toxina	Toxicidade relativa	Concentração ($\mu\text{g/L}$)	Concentração ($\mu\text{g/L eq. STX}$)
NEO	0,924	3,71	3,43
STX	1,0000	3,96	3,96
		Total	7,39

Amostra: Água pré-ozonizada (19/04/05)

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água pré-ozonizada do ensaio 2.3 (concentração total), apresentado na figura B.9, identificam-se picos cromatográficos referentes às toxinas NEO e STX.



toxina	tempo	Área
NEO	3,900	1165
STX	5,789	1789

Figura B.9: Cromatograma da água pré-ozonizada (concentração total) – Ensaio 2.3

NEO

Área NEO: 1165

Área x Fator = Área x Fator NEO = 1165 área x 0,01628pg/área = 18,97pg

Volume de amostra injetado – 25µL

$$\begin{array}{lcl} 18,97\text{pg} & \rightarrow & 25\mu\text{L} \\ X\text{pg} & \rightarrow & 1000000\mu\text{L} \end{array}$$

X = 758800,00pg em 1L

X = 758800,00pg/L \cong 0,76µg/L

NEO = 0,76µg/L

STX

Área STX: 1789

Área x Fator = Área x Fator STX = 1789 área x 0,06577pg/área = 117,66pg

Volume de amostra injetado – 25µL

$$\begin{array}{lcl} 117,66\text{pg} & \rightarrow & 25\mu\text{L} \\ X\text{pg} & \rightarrow & 1000000\mu\text{L} \end{array}$$

X = 4706400,00pg em 1L

X = 4706400,00pg/L \cong 4,71µg/L

STX = 4,71µg/L

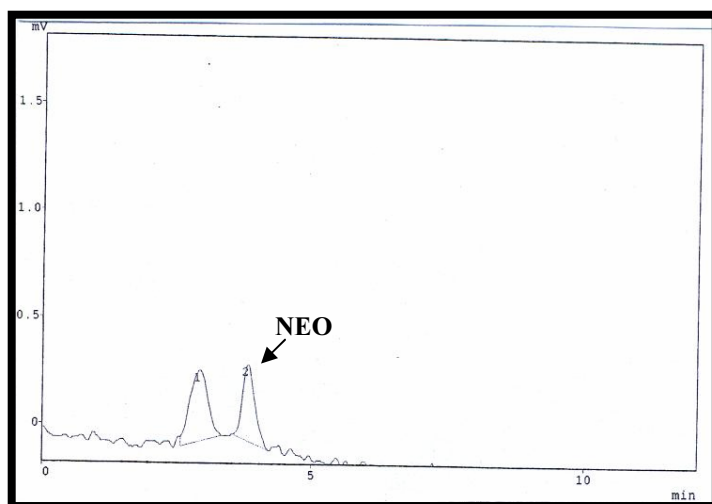
Considerando a concentração de saxitoxinas encontrada na amostra da água pré-ozonizada do Ensaio 2.3 (concentração total), pode-se expressar a concentração em equivalentes de saxitoxina para esta amostra conforme a tabela B.2.14.

Tabela B.2.14 - Concentração de saxitoxinas para amostra de água pré-ozonizada (total) do Ensaio 2.3

Toxina	Toxicidade relativa	Concentração (µg/L)	Concentração (µg/L eq. STX)
NEO	0,924	0,76	0,70
STX	1,000	4,71	4,71
		Total	5,41

Amostra: Água filtrada (19/04/05)

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água filtrada do ensaio 2.3 (concentração total), identifica-se apenas o pico cromatográfico referente à toxina NEO.



toxina	tempo	Área
NEO	3,816	5768

Figura B.10: Cromatograma da água filtrada (concentração total) – Ensaio 2.3

NEO

Área NEO: 5768

Área x Fator = Área x Fator NEO = 5768 área x 0,01628pg/área = 93,90pg

Volume de amostra injetado – 25µL

$$\begin{array}{lcl} 93,90\text{pg} \rightarrow & 25\mu\text{L} & \\ X \text{ pg} \rightarrow & 1000000\mu\text{L} & \end{array}$$

X = 3756000,00pg em 1L

X = 3756000,00pg /L \cong 3,76µg/L

NEO = 3,76µg/L

Considerando a concentração da variante de saxitoxina encontrada na amostra da água filtrada do Ensaio 2.3 (concentração total), pode-se expressar a concentração em equivalentes de saxitoxina para esta amostra conforme a tabela B.2.15.

Tabela B.2.15 – Concentração de saxitoxinas para a amostra de água filtrada (total) – Ensaio 2.3

Toxina	Toxicidade relativa	Concentração (µg/L)	Concentração (µg/L eq. STX)
NEO	0,924	3,76	3,47
		Total	3,47

A tabela B.2.16 apresenta os valores de concentração (total) de saxitoxinas analisada nas amostras de água das diferentes etapas da seqüência de tratamento do Ensaio 2.3, composta por pré-ozonização e filtração direta descendente.

Tabela B.2.16 – Concentração (total) de saxitoxinas analisadas nas amostras de água das diferentes etapas da seqüência de tratamento do Ensaio 2.3

Toxina (concentração total)		Água Bruta	Água Pré-O ₃	Água Filtrada
NEO	(µg/L)	3,71	0,76	3,76
	(µg/L eq. STX)	3,43	0,70	3,47
STX	(µg/L)	3,96	4,71	ND
	(µg/L eq. STX)			
Total µg/L eq. STX		7,39	5,41	3,47

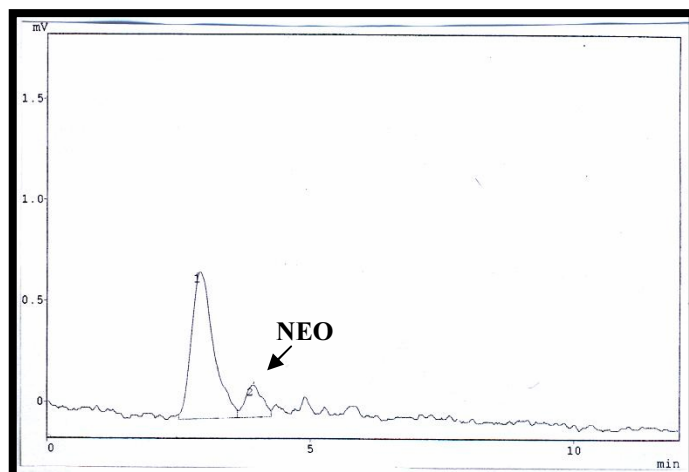
Pré-O₃ = Pré-Ozonizada; ND = Não Detectado;

Ensaio 2.4 – Sequência de tratamento composta de filtração direta descendente e pós-ozonização realizada em 20/04/05.

Análise cromatográfica em relação à NEO e STX

Amostra: Água bruta (20/04/05)

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água bruta do ensaio 2.4 (concentração total), apresentado na figura B.11, identifica-se apenas o pico cromatográfico referente à toxina NEO.



toxina	tempo	Área
NEO	3,892	3630

Figura B.11: Cromatograma da água bruta (concentração total) – Ensaio 2.4

NEO

Área NEO: 3630

Área x Fator = Área x Fator NEO = 3630 área x 0,01628pg/área = 59,10pg

Volume de amostra injetado – 25µL

$$\begin{array}{lcl} 59,10\text{pg} & \rightarrow & 25\mu\text{L} \\ X \text{ pg} & \rightarrow & 1000000\mu\text{L} \end{array}$$

X = 2364000,00pg em 1L

X = 2364000,00pg/L \cong 2,36µg/L

NEO = 2,36µg/L

Considerando a concentração da variante de saxitoxina encontrada na amostra da água bruta do Ensaio 2.4 (concentração total), pode-se expressar a concentração em equivalentes de saxitoxina para esta amostra conforme a tabela B.2.17.

Tabela B.2.17 - Concentração de saxitoxinas para amostra de água bruta (total) do Ensaio 2.4

Toxina	Toxicidade relativa	Concentração (µg/L)	Concentração (µg/L eq. STX)
NEO	0,924	2,36	2,18
Total			2,18

Amostra: Água filtrada (20/04/05)

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água filtrada do ensaio 2.4 (concentração total), apresentado na figura B.12, não se identificam picos cromatográficos referentes às toxinas analisadas.

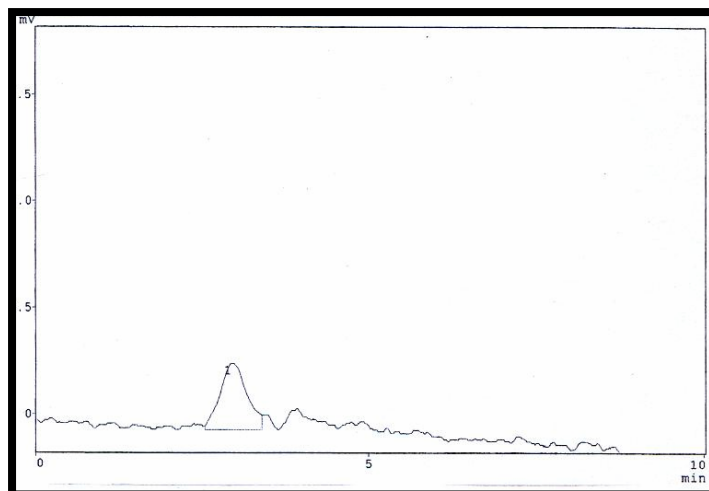
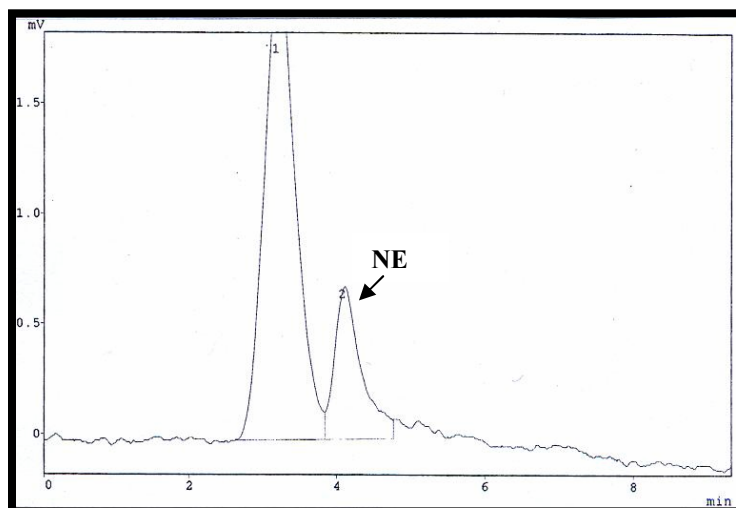


Figura B.12: Cromatograma da água filtrada (concentração total) – Ensaio 2.4

Amostra: Água pós-ozonizada (20/04/05)

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água pós-ozonizada do ensaio 2.4 (concentração total), apresentado na figura B.13, identifica-se apenas o pico cromatográfico referente à toxina NEO.



toxina	tempo	Área
NEO	4,107	17455

Figura B.13: Cromatograma da água pós-ozonizada (concentração total) – Ensaio 2.4

NEO

Área NEO: 17455

Área x Fator = Área x Fator NEO = 17455 área x 0,01628pg/área = 284,17pg

Volume de amostra injetado – 25µL

$$\begin{array}{lcl} 284,17\text{pg} \rightarrow & & 25\mu\text{L} \\ \text{X pg} \rightarrow & & 1000000\mu\text{L} \end{array}$$

$X = 11366800,00\mu\text{g}$ em 1L

$X = 11366800,00\mu\text{g/L} \cong 11,37\mu\text{g/L}$

NEO = 11,37 $\mu\text{g/L}$

Considerando a concentração da variante de saxitoxina encontrada na amostra da água pós-ozonizada do Ensaio 2.4 (concentração total), pode-se expressar a concentração em equivalentes de saxitoxina para esta amostra conforme a tabela B.2.18.

Tabela B.2.18 - Concentração de saxitoxinas para amostra de água pós-ozonizada (total) do Ensaio 2.4

Toxina	Toxicidade relativa	Concentração ($\mu\text{g/L}$)	Concentração ($\mu\text{g/L}$ eq. STX)
NEO	0,924	11,37	10,51
		Total	10,51

A tabela B.2.19 apresenta os valores de concentração (total) de saxitoxinas analisada nas amostras de água das diferentes etapas da sequência de tratamento do Ensaio 2.4, composta por filtração direta descendente seguida de pós-ozonização

Tabela B.2.19 - Concentração (total) de saxitoxinas analisadas nas amostras de água das diferentes etapas da sequência de tratamento do Ensaio 2.4

Toxina (concentração total)		Água Bruta	Água Filtrada	Água Pós-O ₃
NEO	($\mu\text{g/L}$)	2,36	ND	11,37
	($\mu\text{g/L}$ eq. STX)	2,18		10,51
STX	($\mu\text{g/L}$)	ND	ND	ND
	($\mu\text{g/L}$ eq. STX)			
Total $\mu\text{g/L}$ eq. STX		2,18	ND	10,51

Pós-O₃ = Pós-Ozonizada; ND = Não Detectado;

APÊNDICE C

(Fase experimental 3)

- C.1 – Avaliação da concentração de ozônio a ser empregada na pré-ozonização (Controle da concentração de ozônio transferida)**
- C.2 – Resultados dos ensaios de coagulação da fase 3**
- C.3 – Resultados dos ensaios no sistema piloto da fase 3**
 - C.3.1 – Controle da concentração de ozônio transferida na pré e pós-ozonização**
 - C.3.2 – Planilhas de acompanhamento das carreiras de filtração**
 - C.3.3 – Qualidade da água nas diferentes etapas das seqüências de tratamento**
 - C.3.4 – Cálculo da concentração de saxitoxinas**

C.1 - Avaliação da concentração de ozônio a ser empregada na pré-ozonização **(Controle da concentração de ozônio transferida)**

ENSAIO N°: Avaliação da Pré-Ozonização **DATA:** 19/10/05 **EXECUTOR:** Luiz e Renata

GERADOR

Potência (W) $\cong 2,5$

Pressão de saída (bar) = 0,5

FEED GÁS

Vazão de gás (L/h) $Q_g = 60$

Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 2$

Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 2)/60 = 2$

Volume de tiosulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 5,3$

$[O_3]_{\text{feed}}$ (mg/L) $= (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 5,3 \times 24)/2 = 6,40$

OFF GÁS

Vazão de gás (L/h) $Q_g = 60$

Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 4$

Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 4)/60 = 4$

Volume de tiosulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 1,5$

$[O_3]_{\text{off}}$ (mg/L) $= (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 1,5 \times 24)/4 = 0,90$

TRANSFERÊNCIA

Eficiência (%) $E = \{([O_3]_{\text{feed}} - [O_3]_{\text{off}})/[O_3]_{\text{feed}}\} \times 100 = \{(6,40 - 0,90)/6,40\} \times 100 = 86\%$

Água no reator: Vazão (L/h) $Q_a = 333$

Volume (L) $V_a = 27,53$

Tempo de contato do reator (min) $T = (V_a \times 60)/Q_a = (27,53 \times 60)/333 \cong 5,0$

Ozônio transferido para água (mg/L) $[O_3]_t$:

$[O_3]_t = (Q_g \times T \times [O_3]_{\text{feed}} \times E)/V_a \times 6000 = (60 \times 5,0 \times 6,40 \times 86)/27,53 \times 6000$

$[O_3]_t \cong 1,0 \text{mgO}_3/\text{L}$

ENSAIO N°: Avaliação da Pré-Ozonização DATA: 19/10/05 EXECUTOR: Luiz e Renata

GERADOR

Potência (W) $\cong 8$

Pressão de saída (bar) = 0,5

FEED GÁS

Vazão de gás (L/h) $Q_g = 60$

Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 2$

Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 2)/60 = 2$

Volume de tiosulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 11,2$

$[O_3]_{\text{feed}}$ (mg/L) = $(0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 11,2 \times 24)/2 = 13,44$

OFF GÁS

Vazão de gás (L/h) $Q_g = 60$

Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 4$

Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 4)/60 = 4$

Volume de tiosulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 3,9$

$[O_3]_{\text{off}}$ (mg/L) = $(0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 3,9 \times 24)/4 = 2,34$

TRANSFERÊNCIA

Eficiência (%) $E = \{([O_3]_{\text{feed}} - [O_3]_{\text{off}})/[O_3]_{\text{feed}}\} \times 100 = \{(13,44 - 2,34)/13,44\} \times 100 = 83\%$

Água no reator: Vazão (L/h) $Q_a = 333$

Volume (L) $V_a = 27,53$

Tempo de contato do reator (min) $T = (V_a \times 60)/Q_a = (27,53 \times 60)/333 \cong 5,0$

Ozônio transferido para água (mg/L) $[O_3]_t$:

$[O_3]_t = (Q_g \times T \times [O_3]_{\text{feed}} \times E)/V_a \times 6000 = (60 \times 5,0 \times 13,44 \times 83)/27,53 \times 6000$

$[O_3]_t \cong 2,0 \text{mgO}_3/\text{L}$

**ENSAIO Nº: Avaliação da Pré-Ozonização DATA: 19/10/05 EXECUTOR: Luiz e
Renata**

GERADOR

Potência (W) $\cong 19$

Pressão de saída (bar) = 0,5

FEED GÁS

Vazão de gás (L/h) $Q_g = 60$

Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 2$

Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 2)/60 = 2$

Volume de tiosulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 23,58$

$[O_3]_{\text{feed}}$ (mg/L) $= (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 23,58 \times 24)/2 = 28,30$

OFF GÁS

Vazão de gás (L/h) $Q_g = 60$

Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 4$

Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 4)/60 = 4$

Volume de tiosulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 10,6$

$[O_3]_{\text{off}}$ (mg/L) $= (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 10,6 \times 24)/4 = 6,36$

TRANSFERÊNCIA

Eficiência (%) $E = \{([O_3]_{\text{feed}} - [O_3]_{\text{off}})/[O_3]_{\text{feed}}\} \times 100 = \{(28,30 - 6,36)/28,30\} \times 100 = 78\%$

Água no reator: Vazão (L/h) $Q_a = 333$

Volume (L) $V_a = 27,53$

Tempo de contato do reator (min) $T = (V_a \times 60)/Q_a = (27,53 \times 60)/333 \cong 5,0$

Ozônio transferido para água (mg/L) $[O_3]_t$:

$[O_3]_t = (Q_g \times T \times [O_3]_{\text{feed}} \times E)/V_a \times 6000 = (60 \times 5,0 \times 28,30 \times 78)/27,53 \times 6000$

$[O_3]_t \cong 4,0 \text{ mgO}_3/\text{L}$

ENSAIO N°: Avaliação da Pré-Ozonização DATA: 19/10/05 EXECUTOR: Luiz e Renata

GERADOR

Potência (W) $\cong 32,5$

Pressão de saída (bar) = 0,5

FEED GÁS

Vazão de gás (L/h) $Q_g = 60$

Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 2$

Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 2)/60 = 2$

Volume de tiosulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 33,78$

$[O_3]_{\text{feed}}$ (mg/L) $= (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 33,78 \times 24)/2 = 40,54$

OFF GÁS

Vazão de gás (L/h) $Q_g = 60$

Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 4$

Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 4)/60 = 4$

Volume de tiosulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 12,8$

$[O_3]_{\text{off}}$ (mg/L) $= (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 12,8 \times 24)/4 = 7,68$

TRANSFERÊNCIA

Eficiência (%) $E = \{([O_3]_{\text{feed}} - [O_3]_{\text{off}})/[O_3]_{\text{feed}}\} \times 100 = \{(40,54 - 7,68)/40,54\} \times 100 = 81\%$

Água no reator: Vazão (L/h) $Q_a = 333$

Volume (L) $V_a = 27,53$

Tempo de contato do reator (min) $T = (V_a \times 60)/Q_a = (27,53 \times 60)/333 \cong 5,0$

Ozônio transferido para água (mg/L) $[O_3]_t$:

$[O_3]_t = (Q_g \times T \times [O_3]_{\text{feed}} \times E)/V_a \times 6000 = (60 \times 5,0 \times 40,54 \times 81)/27,53 \times 6000$

$[O_3]_t \cong 6,0 \text{mgO}_3/\text{L}$

ENSAIO N°: Avaliação da Pré-Ozonização DATA: 19/10/05 EXECUTOR: Luiz e Renata

GERADOR

Potência (W) $\cong 44$

Pressão de saída (bar) = 0,5

FEED GÁS

Vazão de gás (L/h) $Q_g = 60$

Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 2$

Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b) / 60 = (60 \times 2) / 60 = 2$

Volume de tiosulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 42,76$

$[O_3]_{\text{feed}}$ (mg/L) $= (0,1 \times V_t \times 24) / V_g = (0,1 \times 42,76 \times 24) / 2 = 51,31$

OFF GÁS

Vazão de gás (L/h) $Q_g = 60$

Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 4$

Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b) / 60 = (60 \times 4) / 60 = 4$

Volume de tiosulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 12,0$

$[O_3]_{\text{off}}$ (mg/L) $= (0,1 \times V_t \times 24) / V_g = (0,1 \times 12,0 \times 24) / 4 = 7,20$

TRANSFERÊNCIA

Eficiência (%) $E = \{([O_3]_{\text{feed}} - [O_3]_{\text{off}}) / [O_3]_{\text{feed}}\} \times 100 = \{(51,31 - 7,20) / 51,31\} \times 100 = 86\%$

Água no reator: Vazão (L/h) $Q_a = 333$

Volume (L) $V_a = 27,53$

Tempo de contato do reator (min) $T = (V_a \times 60) / Q_a = (27,53 \times 60) / 333 \cong 5,0$

Ozônio transferido para água (mg/L) $[O_3]_t$:

$[O_3]_t = (Q_g \times T \times [O_3]_{\text{feed}} \times E) / V_a \times 6000 = (60 \times 5,0 \times 51,31 \times 86) / 27,53 \times 6000$

$[O_3]_t \cong 8,0 \text{mgO}_3/\text{L}$

ENSAIO N°: Avaliação da Pré-Ozonização DATA: 19/10/05 EXECUTOR: Luiz e Renata

GERADOR

Potência (W) $\cong 80$

Pressão de saída (bar) = 0,5

FEED GÁS

Vazão de gás (L/h) $Q_g = 60$

Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 2$

Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 2)/60 = 2$

Volume de tiosulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 53,22$

$[O_3]_{\text{feed}}$ (mg/L) $= (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 53,22 \times 24)/2 = 63,87$

OFF GÁS

Vazão de gás (L/h) $Q_g = 60$

Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 4$

Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 4)/60 = 4$

Volume de tiosulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 19,0$

$[O_3]_{\text{off}}$ (mg/L) $= (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 19,0 \times 24)/4 = 11,40$

TRANSFERÊNCIA

Eficiência (%) $E = \{([O_3]_{\text{feed}} - [O_3]_{\text{off}})/[O_3]_{\text{feed}}\} \times 100 = \{(63,87 - 11,40)/63,87\} \times 100 = 82\%$

Água no reator: Vazão (L/h) $Q_a = 333$

Volume (L) $V_a = 27,53$

Tempo de contato do reator (min) $T = (V_a \times 60)/Q_a = (27,53 \times 60)/333 \cong 5,0$

Ozônio transferido para água (mg/L) $[O_3]_t$:

$[O_3]_t = (Q_g \times T \times [O_3]_{\text{feed}} \times E)/V_a \times 6000 = (60 \times 5,0 \times 63,87 \times 82)/27,53 \times 6000$

$[O_3]_t \cong 9,5 \text{mgO}_3/\text{L}$

C.2 - Resultados dos ensaios de coagulação da fase 3

Resultados dos ensaios de coagulação com a água bruta (Fase 3)

Tabela C.2.1 – 1º Ensaio de coagulação com água bruta

JARRO	PRODUTO QUÍMICO			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal (mg/L)	Ácido Sulfúrico (mL/L)	Sulfato de Alumínio (mg/L)		Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)
1			20	5,03	0,85	8
2	2,5		20	5,61	0,51	7
3	3,0		20	5,77	0,50	7
4	3,5		20	5,85	0,58	7
5	4,0		20	5,93	0,61	7
6	4,5		20	5,94	0,74	8

Tabela C.2.2 – 2º Ensaio de coagulação com água bruta

JARRO	PRODUTO QUÍMICO			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal (mg/L)	Ácido Sulfúrico (mL/L)	Sulfato de Alumínio (mg/L)		Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)
1			12	5,85	1,30	9
2			14	5,67	0,93	8
3	0,2		16	5,68	0,81	8
4	0,8		18	5,69	0,76	7
5	2,5		20	5,63	0,50	6
6	3,0		22	5,61	0,49	6

Tabela C.2.3 – 3º Ensaio de coagulação com água bruta

JARRO	PRODUTO QUÍMICO			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal (mg/L)	Ácido Sulfúrico (mL/L)	Sulfato de Alumínio (mg/L)		Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)
1	0,25		20	5,15	0,91	9
2	0,5		20	5,24	0,77	8
3	0,8		20	5,47	0,58	6
4	1,0		20	5,60	0,41	5
5	2,5		20	5,63	0,39	4
6	3,0		20	5,75	0,53	4

Resultados dos ensaios de coagulação com a água pré-ozonizada- 4,5mO₃/L (Fase 3)**Tabela C.2.4 – 1º Ensaio de coagulação com água pré-ozonizada**

JARRO	PRODUTO QUÍMICO			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal (mg/L)	Ácido Sulfúrico (mL/L)	Sulfato de Alumínio (mg/L)		Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)
1		0,20	10	4,12	1,63	10
2		0,15	10	4,76	1,37	8
3		0,05	10	5,73	0,91	7
4			10	5,93	1,73	17
5	3,0		10	6,37	1,78	22
6	6,0		10	7,22	1,86	22

Tabela C.2.5 – 2º Ensaio de coagulação com água pré-ozonizada

JARRO	PRODUTO QUÍMICO			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal (mg/L)	Ácido Sulfúrico (mL/L)	Sulfato de Alumínio (mg/L)		Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)
1			11	5,82	1,38	8
2			12	5,70	1,35	8
3			13	5,57	0,86	8
4			14	5,43	0,43	5
5			15	5,40	0,49	4
6			16	5,38	0,62	6

Tabela C.2.6 – 3º Ensaio de coagulação com água pré-ozonizada

JARRO	PRODUTO QUÍMICO			pH de coagulação	ÁGUA FILTRADA	
	Cal (mg/L)	Ácido Sulfúrico (mL/L)	Sulfato de Alumínio (mg/L)		Turbidez (uT)	Cor Aparente (uH)
1		0,10	14	5,02	1,04	7
2		0,05	14	5,17	0,99	7
3			14	5,41	0,47	5
4	0,20		14	5,83	0,63	6
5	0,50		14	5,97	0,64	7
6	1,00		14	6,11	1,01	8

**C.3.1 - Controle da concentração de ozônio transferida na
pré e pós-ozonização**

FORMULÁRIO DE CONTROLE DA OZONIZAÇÃO

ENSAIO N°: 3.1 – Fase 3 DATA: 07/02/06 EXECUTOR: Luiz e Renata

GERADOR

Potência (W) $\cong 32,5$

Pressão de saída (bar) = 0,5

FEED GÁS

Vazão de gás (L/h) $Q_g = 60$

Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 2$

Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 2)/60 = 2$

Volume de tiossulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 32,7$

$[O_3]_{\text{feed}}$ (mg/L) $= (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 32,7 \times 24)/2 = 39,24$

OFF GÁS

Vazão de gás (L/h) $Q_g = 60$

Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 4$

Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 4)/60 = 4$

Volume de tiossulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 13,7$

$[O_3]_{\text{off}}$ (mg/L) $= (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 13,7 \times 24)/4 = 8,22$

TRANSFERÊNCIA

Eficiência (%) $E = \{([O_3]_{\text{feed}} - [O_3]_{\text{off}})/[O_3]_{\text{feed}}\} \times 100 = \{(39,24 - 8,22)/39,24\} \times 100 = 79\%$

Água no reator: Vazão (L/h) $Q_a = 317$

Volume (L) $V_a = 29,10$

Tempo de contato do reator (min) $T = (V_a \times 60)/Q_a = (29,10 \times 60)/317 = 5,50$

Ozônio transferido para água (mg/L) $[O_3]_t$:

$[O_3]_t = (Q_g \times T \times [O_3]_{\text{feed}} \times E)/V_a \times 6000 = (60 \times 5,50 \times 39,24 \times 79)/29,10 \times 6000$

$[O_3]_t \cong 5,9 \text{mgO}_3/\text{L}$

FORMULÁRIO DE CONTROLE DA OZONIZAÇÃO**ENSAIO Nº: 3.2 – Fase 3 DATA: 09/02/06 EXECUTOR: Luiz e Renata****GERADOR**Potência (W) \cong 85

Pressão de saída (bar) = 0,5

FEED GÁSVazão de gás (L/h) $Q_g = 60$ Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 2$ Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 2)/60 = 2$ Volume de tiosulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 52,15$ $[O_3]_{\text{feed}} \text{ (mg/L)} = (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 52,15 \times 24)/2 = 62,58$ **OFF GÁS**Vazão de gás (L/h) $Q_g = 60$ Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 4$ Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 4)/60 = 4$ Volume de tiosulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 6,45$ $[O_3]_{\text{off}} \text{ (mg/L)} = (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 6,45 \times 24)/4 = 3,87$ **TRANSFERÊNCIA**Eficiência (%) $E = \{([O_3]_{\text{feed}} - [O_3]_{\text{off}})/[O_3]_{\text{feed}}\} \times 100 = \{(62,58 - 3,87)/62,58\} \times 100 = 94\%$ Água no reator: Vazão (L/h) $Q_a = 765$ Volume (L) $V_a = 64,0$ Tempo de contato do reator (min) $T = (V_a \times 60)/Q_a = (64,0 \times 60)/765 = 5,0$ Ozônio transferido para água (mg/L) $[O_3]_t$: $[O_3]_t = (Q_g \times T \times [O_3]_{\text{feed}} \times E)/V_a \times 6000 = (60 \times 5,0 \times 62,58 \times 94)/64,0 \times 6000$ $[O_3]_t \cong 4,5 \text{ mgO}_3/\text{L}$

FORMULÁRIO DE CONTROLE DA OZONIZAÇÃO**ENSAIO Nº: 3.3 – Fase 3 DATA: 21/02/06 EXECUTOR: Luiz e Renata****GERADOR**Potência (W) \cong 85

Pressão de saída (bar) = 0,5

FEED GÁSVazão de gás (L/h) $Q_g = 60$ Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 2$ Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 2)/60 = 2$ Volume de tiossulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 51,00$ $[O_3]_{\text{feed}} \text{ (mg/L)} = (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 51,00 \times 24)/2 = 61,20$ **OFF GÁS**Vazão de gás (L/h) $Q_g = 60$ Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 4$ Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 4)/60 = 4$ Volume de tiossulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 5,40$ $[O_3]_{\text{off}} \text{ (mg/L)} = (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 5,40 \times 24)/4 = 3,24$ **TRANSFERÊNCIA**Eficiência (%) $E = \{([O_3]_{\text{feed}} - [O_3]_{\text{off}})/[O_3]_{\text{feed}}\} \times 100 = \{(61,20 - 3,24)/62,58\} \times 100 = 94\%$ Água no reator: Vazão (L/h) $Q_a = 765$ Volume (L) $V_a = 64,0$ Tempo de contato do reator (min) $T = (V_a \times 60)/Q_a = (64,0 \times 60)/765 = 5,0$ Ozônio transferido para água (mg/L) $[O_3]_t$: $[O_3]_t = (Q_g \times T \times [O_3]_{\text{feed}} \times E)/V_a \times 6000 = (60 \times 5,0 \times 61,20 \times 94)/64,0 \times 6000$ $[O_3]_t \cong 4,5 \text{ mgO}_3/\text{L}$

FORMULÁRIO DE CONTROLE DA OZONIZAÇÃO**ENSAIO N°: 3.4 – Fase 3 DATA: 23/02/06 EXECUTOR: Luiz e Renata****GERADOR**Potência (W) $\cong 32,5$

Pressão de saída (bar) = 0,5

FEED GÁSVazão de gás (L/h) $Q_g = 60$ Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 2$ Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 2)/60 = 2$ Volume de tiosulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 33,02$ $[O_3]_{\text{feed}} \text{ (mg/L)} = (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 33,02 \times 24)/2 = 36,62$ **OFF GÁS**Vazão de gás (L/h) $Q_g = 60$ Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 4$ Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 4)/60 = 4$ Volume de tiosulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 13,87$ $[O_3]_{\text{off}} \text{ (mg/L)} = (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 13,87 \times 24)/4 = 8,32$ **TRANSFERÊNCIA**Eficiência (%) $E = \{([O_3]_{\text{feed}} - [O_3]_{\text{off}})/[O_3]_{\text{feed}}\} \times 100 = \{(36,62 - 8,32)/36,62\} \times 100 = 79\%$ Água no reator: Vazão (L/h) $Q_a = 317$ Volume (L) $V_a = 29,10$ Tempo de contato do reator (min) $T = (V_a \times 60)/Q_a = (29,10 \times 60)/317 = 5,50$ Ozônio transferido para água (mg/L) $[O_3]_t$: $[O_3]_t = (Q_g \times T \times [O_3]_{\text{feed}} \times E)/V_a \times 6000 = (60 \times 5,50 \times 36,62 \times 79)/29,10 \times 6000$ $[O_3]_t \cong 5,92 \text{ mgO}_3/\text{L}$

FORMULÁRIO DE CONTROLE DA OZONIZAÇÃO**ENSAIO Nº: 3.5 – Fase 3 DATA: 09/03/06 EXECUTOR: Luiz e Renata****GERADOR**Potência (W) $\cong 32,5$

Pressão de saída (bar) = 0,5

FEED GÁSVazão de gás (L/h) $Q_g = 60$ Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 2$ Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 2)/60 = 2$ Volume de tiossulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 33,9$ $[O_3]_{\text{feed}} \text{ (mg/L)} = (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 33,9 \times 24)/2 = 40,68$ **OFF GÁS**Vazão de gás (L/h) $Q_g = 60$ Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 4$ Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 4)/60 = 4$ Volume de tiossulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 14,8$ $[O_3]_{\text{off}} \text{ (mg/L)} = (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 14,8 \times 24)/4 = 8,88$ **TRANSFERÊNCIA**Eficiência (%) $E = \{([O_3]_{\text{feed}} - [O_3]_{\text{off}})/[O_3]_{\text{feed}}\} \times 100 = \{(40,68 - 8,88)/40,68\} \times 100 = 78\%$ Água no reator: Vazão (L/h) $Q_a = 317$ Volume (L) $V_a = 29,10$ Tempo de contato do reator (min) $T = (V_a \times 60)/Q_a = (29,10 \times 60)/317 = 5,50$ Ozônio transferido para água (mg/L) $[O_3]_t$: $[O_3]_t = (Q_g \times T \times [O_3]_{\text{feed}} \times E)/V_a \times 6000 = (60 \times 5,50 \times 40,68 \times 78)/29,10 \times 6000$ $[O_3]_t \cong 6,0 \text{ mgO}_3/\text{L}$

FORMULÁRIO DE CONTROLE DA OZONIZAÇÃO**ENSAIO Nº: 3.6 – Fase 3 DATA: 14/03/06 EXECUTOR: Luiz e Renata****GERADOR**Potência (W) \cong 85

Pressão de saída (bar) = 0,5

FEED GÁSVazão de gás (L/h) $Q_g = 60$ Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 2$ Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 2)/60 = 2$ Volume de tiossulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 50,93$ $[O_3]_{\text{feed}} \text{ (mg/L)} = (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 50,93 \times 24)/2 = 61,12$ **OFF GÁS**Vazão de gás (L/h) $Q_g = 60$ Tempo de borbulhamento (min) $t_b = 4$ Volume de gás (L) $V_g = (Q_g \times t_b)/60 = (60 \times 4)/60 = 4$ Volume de tiossulfato 0,1 N gasto na titulação (mL) $V_t = 5,1$ $[O_3]_{\text{off}} \text{ (mg/L)} = (0,1 \times V_t \times 24)/V_g = (0,1 \times 5,1 \times 24)/4 = 3,06$ **TRANSFERÊNCIA**Eficiência (%) $E = \{([O_3]_{\text{feed}} - [O_3]_{\text{off}})/[O_3]_{\text{feed}}\} \times 100 = \{(61,12 - 3,06)/61,12\} \times 100 = 95\%$ Água no reator: Vazão (L/h) $Q_a = 765$ Volume (L) $V_a = 64,0$ Tempo de contato do reator (min) $T = (V_a \times 60)/Q_a = (64,0 \times 60)/765 = 5,0$ Ozônio transferido para água (mg/L) $[O_3]_t$: $[O_3]_t = (Q_g \times T \times [O_3]_{\text{feed}} \times E)/V_a \times 6000 = (60 \times 5,0 \times 61,12 \times 95)/64 \times 6000$ $[O_3]_t \cong 4,5 \text{ mgO}_3/\text{L}$

C.3.2 – Planilhas de acompanhamento das carreiras de filtração da fase experimental 3

Tabela C.3.1 – 1º Carreira de filtração (filtração direta descendente e pós-ozonização) – Ensaio 3.1

Água bruta: Lagoa do Peri									Dosagem de coagulante (mg/L): \cong 20 (sulfato de alumínio – SA)						
Vazão de alimentação do filtro (L/hora): \cong 317									Dosagem de alcalinizante (mg/L): \cong 1,0						
Taxa (m ³ /m ² .dia): \cong 200									Dosagem de acidificante (mL/L):						
Obs: Ensaio 3.1 – 3ª Fase – Filtração Direta e Pós-Ozonização - Realizado em 07/02/06 - Operadores: Luiz e Renata															
Pré-ozonização		[O ₃]transf. para água:				[O ₃]dissol. água:			Pós-ozonização		[O ₃]transf. para água: \cong 6,0 mgO ₃ /L		[O ₃]dissol. água: \cong 1,25 mgO ₃ /L		
Data e Hora/ Observação		Leitura dos piezômetros (cm)							Parâmetro		Ponto de coleta				
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7			P8	Bruta	Pré-O ₃	Coag.	Filtrada
11h15min		20,5	19,5	15,5	13,8	12,5	8,2	4,5	3,0	Turbidez (uT)	4,43			0,88	0,78
										Cor aparente (uH)	66			9	7
										pH	7,19		5,64	6,44	6,27
										Temperatura (°C)	27,1				
11h45min		29,2	19,5	15,5	13,8	12,5	8,2	4,5	3,0	Turbidez (uT)	4,68			0,80	0,73
										Cor aparente (uH)	75			8	7
										pH	6,80		5,86	6,27	6,02
										Temperatura (°C)	27,3				
12h15min (1 hora)		42,5	19,5	15,5	13,8	12,5	8,2	4,5	3,0	Turbidez (uT)	5,21			0,60	0,58
										Cor aparente (uH)	76			8	6
										pH	6,80		5,58	6,06	5.92
										Temperatura (°C)	27,5				
13h15min (2 horas)		75,0	19,5	15,5	13,8	12,5	8,2	4,5	3,0	Turbidez (uT)	5,27			0,54	0,41
										Cor aparente (uH)	73			6	< 1
										pH	6,86		5,65	5,85	5,62
										Temperatura (°C)	28,2				
14h15min (3 horas)		100,0	19,7	15,5	13,8	12,5	8,2	4,5	3,0	Turbidez (uT)	5,16			0,55	0,53
										Cor aparente (uH)	78			6	4
										pH	6,95		5,48	5,72	5,51
										Temperatura (°C)	28,4				

< 1 = valor menor do que 1 uH

Data e Hora/ Observação	Leitura dos piezômetros (cm)								Parâmetro	Ponto de coleta				
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		Bruta	Pré-O ₃	Coag.	Filtrada	Pós-O ₃
15h15min (4 horas)	123,0	22,0	15,7	13,8	12,5	8,2	4,5	3,0	Turbidez (uT)	5,28			0,54	0,51
									Cor aparente (uH)	81			6	2
									pH	6,95		5,41	5,65	5,45
									Temperatura (°C)	27,2				
16h15min (5 horas)	133,0	28,7	17,9	15,2	13,7	8,7	4,7	3,2	Turbidez (uT)	5,60			0,54	0,50
									Cor aparente (uH)	81			6	2
									pH	6,98		5,63	5,78	5,62
									Temperatura (°C)	26,9				
17h15min (6horas)	165,0	32,7	17,9	15,2	13,7	8,7	4,7	3,2	Turbidez (uT)	5,24			0,56	0,49
									Cor aparente (uH)	78			6	2
									pH	6,95		5,49	5,79	5,60
									Temperatura (°C)	27,2				
18h15min (7horas)	195,0	41,0	18,5	15,2	13,7	8,7	4,7	3,2	Turbidez (uT)	5,02			0,34	0,20
									Cor aparente (uH)	75			6	1
									pH	6,97		5,50	5,67	5,41
									Temperatura (°C)	27,0				
18h30min (7,25horas)	200,0	43,2	19,0	15,2	13,7	8,7	4,7	3,2	Turbidez (uT)	5,13			0,30	0,22
									Cor aparente (uH)	75			6	1
									pH	6,90		5,50	5,66	5,47
									Temperatura (°C)	27,0				
									Turbidez (uT)					
									Cor aparente (uH)					
									pH					
									Temperatura (°C)					
									Turbidez (uT)					
									Cor aparente (uH)					
									pH					
									Temperatura (°C)					

Tabela C.3.2 – 2º Carreira de filtração (pré-ozonização e filtração direta descendente) – Ensaio 3.2

Água bruta: Pré-ozonizada (Lagoa do Peri)									Dosagem de coagulante (mg/L): \cong 14 (sulfato de alumínio – SA)						
Vazão de alimentação do filtro (L/hora): \cong 317									Dosagem de alcalinizante (mg/L):						
Taxa (m ³ /m ² .dia): \cong 200									Dosagem de acidificante (mL/L):						
Obs: Ensaio 3.2 – 3ª Fase – Filtração Direta e Pós-Ozonização - Realizado em 09/02/06 - Operadores: Luiz e Renata															
Pré-ozonização		[O ₃]transf. para água: \cong 4,5mgO ₃ /L			[O ₃]dissol. água: \cong 0,5mgO ₃ /L				Pós-ozonização		[O ₃]transf. para água:			[O ₃]dissol. água:	
Data e Hora/ Observação		Leitura dos piezômetros (cm)							Parâmetro		Ponto de coleta				
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7			P8	Bruta	Pré-O ₃	Coag.	Filtrada
12h35min		21,3	17,2	16,9	14,1	12,9	8,5	4,2	3,3	Turbidez (uT)	5,45	2,65		0,71	
										Cor aparente (uH)	74	26		4	
										pH	6,84	6,79	5,43	5,92	
										Temperatura (°C)	27,3				
13h05min		29,0	17,2	16,9	14,1	12,9	8,5	4,2	3,3	Turbidez (uT)	5,33	2,39		0,52	
										Cor aparente (uH)	78	30		5	
										pH	6,90	6,59	5,59	5,83	
										Temperatura (°C)	27,4				
13h35min (1 hora)		35,7	17,2	16,9	14,1	12,9	8,5	4,2	3,3	Turbidez (uT)	5,24	2,52		0,54	
										Cor aparente (uH)	77	29		4	
										pH	6,80	6,64	5,76	5,80	
										Temperatura (°C)	27,5				
14h35min (2 horas)		57,4	17,3	17,0	14,2	13,0	8,5	4,2	3,3	Turbidez (uT)	5,65	2,51		0,42	
										Cor aparente (uH)	82	36		4	
										pH	6,99	6,62	5,52	5,73	
										Temperatura (°C)	27,8				
15h35min (3 horas)		81,6	17,7	17,0	14,2	13,0	8,5	4,2	3,3	Turbidez (uT)	6,05	2,85		0,37	
										Cor aparente (uH)	83	32		3	
										pH	6,74	6,52	5,45	5,63	
										Temperatura (°C)	27,7				
16h35min (4 horas)		101,8	18,1	17,1	14,3	13,1	8,6	4,5	3,3	Turbidez (uT)	5,62	2,89		0,34	
										Cor aparente (uH)	75	30		< 1	
										pH	6,76	6,52	5,57	5,55	
										Temperatura (°C)	27,7				

< 1 = valor menor do que 1 uH

Data e Hora/ Observação	Leitura dos piezômetros (cm)								Parâmetro	Ponto de coleta				
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		Bruta	Pré-O ₃	Coag.	Filtrada	Pós-O ₃
17h35min (5 horas)	128,8	19,1	17,1	14,4	13,1	8,6	4,6	3,3	Turbidez (uT)	5,83	3,09		0,33	
									Cor aparente (uH)	75	27		2	
									pH	6,50	6,32	5,44	5,49	
									Temperatura (°C)	27,5				
18h35min (6horas)	152,9	20,7	17,2	14,4	13,1	8,6	4,6	3,3	Turbidez (uT)	5,98	2,89		0,35	
									Cor aparente (uH)	79	32		2	
									pH	6,64	6,36	5,39	5,37	
									Temperatura (°C)	27,4				
19h35min (7horas)	177,5	23,3	17,3	14,5	13,3	8,7	4,6	3,3	Turbidez (uT)	5,93	2,58		0,41	
									Cor aparente (uH)	77	29		3	
									pH	6,51	6,41	5,54	5,44	
									Temperatura (°C)	27,4				
20h35min (8horas)	200,0	26,4	17,4	14,5	13,5	8,7	4,6	3,3	Turbidez (uT)	6,12	2,45		0,39	
									Cor aparente (uH)	80	28		2	
									pH	6,69	6,38	5,44	5,36	
									Temperatura (°C)	27,2				
									Turbidez (uT)					
									Cor aparente (uH)					
									pH					
									Temperatura (°C)					
									Turbidez (uT)					
									Cor aparente (uH)					
									pH					
									Temperatura (°C)					
									Turbidez (uT)					
									Cor aparente (uH)					
									pH					
									Temperatura (°C)					

Tabela C.3.3 – 3º Carreira de filtração (pré-ozonização e filtração direta descendente) – Ensaio 3.3

Água bruta: Pré-ozonizada (Lagoa do Peri)									Dosagem de coagulante (mg/L): \cong 14 (sulfato de alumínio – SA)						
Vazão de alimentação do filtro (L/hora): \cong 317									Dosagem de alcalinizante (mg/L):						
Taxa (m ³ /m ² .dia): \cong 200									Dosagem de acidificante (mL/L):						
Obs: Ensaio 3.3 – 3ª Fase – Pré-Ozonização e Filtração Direta - Realizado em									21/02/06 - Operadores: Luiz e Renata						
Pré-ozonização		[O ₃]transf. para água: \cong 4,5mgO ₃ /L			[O ₃]dissol. água: \cong 0,50 mgO ₃ /L				Pós-ozonização		[O ₃]transf. para água:			[O ₃]dissol. água:	
Data e Hora/ Observação		Leitura dos piezômetros (cm)							Parâmetro		Ponto de coleta				
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7			P8	Bruta	Pré-O ₃	Coag.	Filtrada
12h40min		18,4	15,5	14,4	12,7	11,5	7,0	4,1	3,1	Turbidez (uT)	5,68	2,27		0,82	
										Cor aparente (uH)	82	28		8	
										pH	6,78	6,68	5,33	5,80	
										Temperatura (°C)	28,0				
13h10min		23,7	15,5	14,4	12,7	11,5	7,5	4,1	3,1	Turbidez (uT)	5,68	2,33		0,61	
										Cor aparente (uH)	81	26		5	
										pH	7,12	6,44	5,65	5,73	
										Temperatura (°C)	27,9				
13h40min (1 hora)		30,4	15,5	14,4	12,7	11,5	7,5	4,1	3,1	Turbidez (uT)	5,82	2,49		0,48	
										Cor aparente (uH)	89	29		4	
										pH	6,97	6,39	5,42	5,66	
										Temperatura (°C)	27,9				
14h40min (2 horas)		53,0	15,5	14,4	12,7	11,5	7,5	4,1	3,1	Turbidez (uT)	5,89	2,47		0,36	
										Cor aparente (uH)	82	23		2	
										pH	6,93	6,56	5,42	5,49	
										Temperatura (°C)	27,8				
15h40min (3 horas)		72,6	16,0	14,7	12,8	11,5	7,5	4,1	3,1	Turbidez (uT)	5,42	2,72		0,47	
										Cor aparente (uH)	85	28		3	
										pH	7,16	6,62	5,56	5,45	
										Temperatura (°C)	27,4				
16h40min (4 horas)		96,2	16,1	14,7	12,8	11,5	7,5	4,1	3,1	Turbidez (uT)	6,42	2,56		0,42	
										Cor aparente (uH)	86	28		< 1	
										pH	7,08	6,60	5,36	5,48	
										Temperatura (°C)	27,3				

< 1 = valor menor do que 1 uH

Data e Hora/ Observação	Leitura dos piezômetros (cm)								Parâmetro	Ponto de coleta				
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		Bruta	Pré-O ₃	Coag.	Filtrada	Pós-O ₃
17h40min (5 horas)	122,7	16,5	15,0	13,0	11,5	7,5	4,1	3,1	Turbidez (uT)	5,51	2,41		0,37	
									Cor aparente (uH)	86	27		< 1	
									pH	7,00	6,62	5,42	5,46	
									Temperatura (°C)	26,8				
18h40min (6horas)	147,9	16,5	15,0	13,0	11,6	7,5	4,1	3,1	Turbidez (uT)	5,79	2,54		0,37	
									Cor aparente (uH)	83	29		1	
									pH	7,00	6,58	5,42	5,42	
									Temperatura (°C)	27,1				
19h40min (7horas)	177,2	17,0	15,0	13,0	11,6	7,5	4,1	3,1	Turbidez (uT)	5,05	2,36		0,35	
									Cor aparente (uH)	82	28		< 1	
									pH	7,06	6,59	5,41	5,40	
									Temperatura (°C)	27,1				
20h40min (8horas)	200,0	17,4	15,1	13,0	11,6	7,5	4,1	3,1	Turbidez (uT)	5,24	2,39		0,38	
									Cor aparente (uH)	81	24		< 1	
									pH	7,17	6,51	5,42	5,40	
									Temperatura (°C)	27,2				
									Turbidez (uT)					
									Cor aparente (uH)					
									pH					
									Temperatura (°C)					
									Turbidez (uT)					
									Cor aparente (uH)					
									pH					
									Temperatura (°C)					

< 1 = valor menor do que 1 uH

Tabela C.3.4 – 4º Carreira de filtração (filtração direta descendente e pós-ozonização) – Ensaio 3.4

Água bruta: Lagoa do Peri									Dosagem de coagulante (mg/L): \cong 20 (sulfato de alumínio – SA)						
Vazão de alimentação do filtro (L/hora): \cong 317									Dosagem de alcalinizante (mg/L): \cong 1,0						
Taxa (m³/m².dia): \cong 200									Dosagem de acidificante (mL/L):						
Obs: Ensaio 3.4 – 3ª Fase – Filtração Direta e Pós-Ozonização - Realizado em 23/02/06 - Operadores: Luiz e Renata															
Pré-ozonização		[O₃]transf. para água:			[O₃]dissol. água:				Pós-ozonização		[O₃]transf. para água: \cong 6,0 mgO₃/L			[O₃]dissol. água: \cong 1,25 mgO₃/L	
Data e Hora/ Observação		Leitura dos piezômetros (cm)							Parâmetro		Ponto de coleta				
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7			P8	Bruta	Pré-O₃	Coag.	Filtrada
12h10min		20,3	16,2	14,6	13,0	12,0	7,5	4,0	3,0	Turbidez (uT)	4,99			0,61	0,58
										Cor aparente (uH)	72			6	6
										pH	6,75		5,24	5,57	5,23
										Temperatura (°C)	26,9				
12h40min		30,0	16,4	14,9	13,2	12,7	7,6	4,0	3,0	Turbidez (uT)	5,04			0,57	0,53
										Cor aparente (uH)	72			6	6
										pH	6,83		5,28	5,51	5,50
										Temperatura (°C)	26,9				
13h10min (1 hora)		40,0	16,4	14,9	13,2	12,7	7,6	4,0	3,0	Turbidez (uT)	4,99			0,60	0,55
										Cor aparente (uH)	74			7	6
										pH	6,87		5,27	5,38	5,22
										Temperatura (°C)	27,1				
14h10min (2 horas)		65,5	17,0	15,0	13,3	12,7	7,6	4,0	3,0	Turbidez (uT)	4,98			0,60	0,56
										Cor aparente (uH)	78			6	6
										pH	6,87		5,45	5,39	5,26
										Temperatura (°C)	27,1				
15h10min (3 horas)		88,0	19,0	15,2	13,3	12,7	7,7	4,0	3,0	Turbidez (uT)	4,93			0,55	0,50
										Cor aparente (uH)	78			7	4
										pH	6,77		5,52	5,39	5,31
										Temperatura (°C)	27,3				
16h10min (4 horas)		110,0	24,0	15,3	13,4	12,7	7,7	4,0	3,0	Turbidez (uT)	4,98			0,48	0,45
										Cor aparente (uH)	79			5	2
										pH	6,60		5,41	5,33	5,30
										Temperatura (°C)	27,2				

Data e Hora/ Observação	Leitura dos piezômetros (cm)								Parâmetro	Ponto de coleta				
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		Bruta	Pré-O ₃	Coag.	Filtrada	Pós-O ₃
17h10min (5 horas)	134,8	31,7	15,5	13,4	12,7	7,7	4,0	3,0	Turbidez (uT)	5,07			0,47	0,45
									Cor aparente (uH)	79			4	2
									pH	6,70		5,40	5,30	5,30
									Temperatura (°C)	27,1				
18h10min (6horas)	161,0	41,6	16,2	13,6	12,7	7,8	4,1	3,0	Turbidez (uT)	5,44			0,48	0,43
									Cor aparente (uH)	78			2	2
									pH	6,84		5,61	5,35	5,36
									Temperatura (°C)	27,1				
19h10min (7horas)	184,0	52,3	17,6	13,7	12,7	7,8	4,1	3,0	Turbidez (uT)	5,06			0,41	0,40
									Cor aparente (uH)	76			2	1
									pH	6,67		5,52	5,31	5,32
									Temperatura (°C)	27,2				
20h10min (8horas)	200,0	63,7	20,0	13,7	12,7	7,9	4,2	3,1	Turbidez (uT)	5,63			0,44	0,42
									Cor aparente (uH)	80			3	1
									pH	6,88		5,40	5,47	5,43
									Temperatura (°C)	27,1				
									Turbidez (uT)					
									Cor aparente (uH)					
									pH					
									Temperatura (°C)					
									Turbidez (uT)					
									Cor aparente (uH)					
									pH					
									Temperatura (°C)					

Tabela C.3.5 – 5º Carreira de filtração (filtração direta descendente e pós-ozonização) – Ensaio 3.5

Água bruta: Lagoa do Peri									Dosagem de coagulante (mg/L): \cong 20 (sulfato de alumínio – SA)							
Vazão de alimentação do filtro (L/hora): \cong 317									Dosagem de alcalinizante (mg/L): \cong 1,0							
Taxa (m ³ /m ² .dia): \cong 200									Dosagem de acidificante (mL/L):							
Obs: Ensaio 3.5 – 3ª Fase – Filtração Direta e Pós-Ozonização - Realizado em 09/03/06 - Operadores: Luiz e Renata																
Pré-ozonização		[O ₃]transf. para água:			[O ₃]dissol. água:				Pós-ozonização		[O ₃]transf. para água: \cong 6,0 mgO ₃ /L			[O ₃]dissol. água: \cong 1,25 mgO ₃ /L		
Data e Hora/ Observação		Leitura dos piezômetros (cm)								Parâmetro		Ponto de coleta				
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8			Bruta	Pré-O ₃	Coag.	Filtrada	Pós-O ₃
12h00min		22,2	16,3	15,0	13,2	12,1	8,0	4,4	3,0	Turbidez (uT)	5,18			0,85	0,65	
										Cor aparente (uH)	67			9	5	
										pH	6,76		5,55	5,73	5,33	
										Temperatura (°C)	29,7					
12h30min		32,7	16,4	15,0	13,2	12,1	8,0	4,4	3,0	Turbidez (uT)	4,78			0,77	0,63	
										Cor aparente (uH)	61			7	6	
										pH	6,84		5,63	5,71	5,45	
										Temperatura (°C)	29,9					
13h00min (1hora)		45,5	16,4	15,0	13,3	12,1	8,0	4,4	3,0	Turbidez (uT)	4,43			0,65	0,59	
										Cor aparente (uH)	60			7	1	
										pH	6,81		5,60	5,63	5,36	
										Temperatura (°C)	30,0					
14h00min (2horas)		69,2	16,8	15,2	13,4	12,2	8,1	4,5	3,0	Turbidez (uT)	4,70			0,68	0,58	
										Cor aparente (uH)	72			6	2	
										pH	6,64		5,73	5,48	5,34	
										Temperatura (°C)	29,7					
15h00min (3horas)		96,7	16,9	15,2	13,4	12,2	8,1	4,5	3,0	Turbidez (uT)	4,78			0,62	0,56	
										Cor aparente (uH)	67			6	2	
										pH	6,80		5,44	5,50	5,29	
										Temperatura (°C)	29,8					
16h00min (4 horas)		120,3	20,5	15,4	13,5	12,2	8,1	4,5	3,0	Turbidez (uT)	5,05			0,64	0,55	
										Cor aparente (uH)	67			5	2	
										pH	6,80		5,57	5,43	5,32	
										Temperatura (°C)	29,5					

Data e Hora/ Observação	Leitura dos piezômetros (cm)								Parâmetro	Ponto de coleta				
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		Bruta	Pré-O ₃	Coag.	Filtrada	Pós-O ₃
17h00min (5 horas)	145,4	25,0	15,7	13,5	12,2	8,1	4,5	3,0	Turbidez (uT)	5,15			0,58	0,49
									Cor aparente (uH)	67			5	4
									pH	6,82		5,52	5,32	5,06
									Temperatura (°C)	29,0				
18h00min (6horas) (dosagem de S.A. 22mg/L)	170,4	30,7	16,3	13,6	12,3	8,1	4,5	3,0	Turbidez (uT)	4,93			0,57	0,51
									Cor aparente (uH)	68			5	3
									pH	6,82		5,39	5,29	5,09
									Temperatura (°C)	29,0				
19h15min (7,25horas)	200,0	39,7	18,0	13,7	12,4	8,1	4,5	3,0	Turbidez (uT)	5,86			0,47	0,45
									Cor aparente (uH)	77			4	3
									pH	6,83		5,53	5,31	5,11
									Temperatura (°C)	28,2				
									Turbidez (uT)					
									Cor aparente (uH)					
									pH					
									Temperatura (°C)					
									Turbidez (uT)					
									Cor aparente (uH)					
									pH					
									Temperatura (°C)					
									Turbidez (uT)					
									Cor aparente (uH)					
									pH					
									Temperatura (°C)					

Tabela C.3.6 – 6º Carreira de filtração (pré-ozonização e filtração direta descendente) – Ensaio 3.6

Água bruta: Pré-ozonizada (Lagoa do Peri)									Dosagem de coagulante (mg/L): \cong 14 (sulfato de alumínio – SA)						
Vazão de alimentação do filtro (L/hora): \cong 317									Dosagem de alcalinizante (mg/L):						
Taxa (m ³ /m ² .dia): \cong 200									Dosagem de acidificante (mL/L):						
Obs: Ensaio 3.6 – 3ª Fase – Filtração Direta e Pós-Ozonização - Realizado em 14/03/06 - Operadores: Luiz e Renata															
Pré-ozonização		[O ₃]transf. para água: \cong 4,5mgO ₃ /L			[O ₃]dissol. água: \cong 0,5mgO ₃ /L				Pós-ozonização		[O ₃]transf. para água:			[O ₃]dissol. água:	
Data e Hora/ Observação		Leitura dos piezômetros (cm)							Parâmetro		Ponto de coleta				
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7			P8	Bruta	Pré-O ₃	Coag.	Filtrada
11h20min		22,3	16,2	15,9	13,1	11,9	8,0	4,2	3,0	Turbidez (uT)	5,49	2,25		0,72	
										Cor aparente (uH)	74	28		4	
										pH	6,88	6,71	5,40	5,82	
										Temperatura (°C)	27,7				
11h50min		30,0	16,2	15,9	13,1	11,9	8,0	4,2	3,0	Turbidez (uT)	5,32	2,33		0,57	
										Cor aparente (uH)	78	30		5	
										pH	6,83	6,47	5,49	5,84	
										Temperatura (°C)	27,7				
12h20min (1 hora)		33,7	16,2	15,9	13,1	11,9	8,0	4,2	3,0	Turbidez (uT)	5,44	2,35		0,55	
										Cor aparente (uH)	77	29		4	
										pH	6,79	6,64	5,42	5,81	
										Temperatura (°C)	27,8				
13h20min (2 horas)		56,4	16,3	16,0	13,2	12,0	8,0	4,2	3,0	Turbidez (uT)	5,82	2,63		0,45	
										Cor aparente (uH)	80	31		3	
										pH	6,77	6,40	5,55	5,70	
										Temperatura (°C)	27,8				
14h20min (3 horas)		80,8	16,7	16,0	13,2	12,0	8,0	4,2	3,0	Turbidez (uT)	5,78	2,90		0,30	
										Cor aparente (uH)	77	30		2	
										pH	6,70	6,49	5,45	5,63	
										Temperatura (°C)	27,6				
15h20min (4 horas)		101,3	17,1	16,1	13,3	12,1	8,0	4,2	3,0	Turbidez (uT)	5,70	2,81		0,32	
										Cor aparente (uH)	73	25		1	
										pH	6,66	6,42	5,47	5,45	
										Temperatura (°C)	27,5				

Data e Hora/ Observação	Leitura dos piezômetros (cm)								Parâmetro	Ponto de coleta				
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		Bruta	Pré-O ₃	Coag.	Filtrada	Pós-O ₃
16h20min (5 horas)	128,6	18,1	16,1	13,4	12,1	8,0	4,2	3,0	Turbidez (uT)	5,93	2,99		0,30	
									Cor aparente (uH)	75	26		1	
									pH	6,58	6,33	5,42	5,43	
									Temperatura (°C)	27,4				
17h20min (6horas)	153,0	19,7	16,2	13,4	12,2	8,1	4,2	3,0	Turbidez (uT)	5,92	2,81		0,38	
									Cor aparente (uH)	75	32		2	
									pH	6,61	6,40	5,49	5,36	
									Temperatura (°C)	27,4				
18h20min (7horas)	174,1	20,3	16,3	13,5	12,3	8,2	4,3	3,1	Turbidez (uT)	5,98	2,38		0,45	
									Cor aparente (uH)	79	27		3	
									pH	6,50	6,42	5,50	5,42	
									Temperatura (°C)	27,4				
19h45min (8,41horas)	200,0	25,4	16,4	13,5	12,5	8,4	4,3	3,1	Turbidez (uT)	6,02	2,25		0,49	
									Cor aparente (uH)	80	24		3	
									pH	6,59	6,08	5,41	5,36	
									Temperatura (°C)	27,3				
									Turbidez (uT)					
									Cor aparente (uH)					
									pH					
									Temperatura (°C)					
									Turbidez (uT)					
									Cor aparente (uH)					
									pH					
									Temperatura (°C)					
									Turbidez (uT)					
									Cor aparente (uH)					
									pH					
									Temperatura (°C)					

C.3.3 - Qualidade da água nas diferentes etapas das seqüências de tratamento

A tabela C.3.7 apresenta os valores dos parâmetros de qualidade de água analisados nas amostras de água das diferentes etapas das seqüências de tratamento dos Ensaios 3.1 e 3.2.

Tabela C.3.7 – Parâmetros analisados nas amostras de água das diferentes etapas das seqüências de tratamento dos Ensaios 3.1 e 3.2

Ensaios	Parâmetros		Água Bruta	Água Pré-O ₃	Água Filtrada	Água Pós-O ₃
Ensaio 3.1 (07/02/06)	Turbidez	uT	5,16		0,55	0,53
	Cor aparente	uH	78		6	4
	Cor verdadeira	uH	6		< 1	< 1
	pH		6,95		5,72	5,51
	Temperatura	°C	28,4		----	----
	Sólidos Totais Dissolvidos	mg/L	36		36	36
	Condutividade elétrica	µS/cm	72		73	73
	Alcalinidade total	mg/L	7,8		----	----
	COT	mg/L	8,3		2,7	1,3
	Clorofila <i>a</i>	µg/L	30,67		5,13	3,80
	Cianobactérias	Ind./mL	111.685		6.123	4.757
		Cél./mL	885.914		62.366	52.686
Ensaio 3.2 (09/02/06)	Turbidez	uT	5,62	2,89	0,34	
	Cor aparente	uH	75	30	< 1	
	Cor verdadeira	uH	5	2	< 1	
	pH		6,76	6,52	5,55	
	Temperatura	°C	27,7	----	----	
	Sólidos Totais Dissolvidos	mg/L	32	40	37	
	Condutividade elétrica	µS/cm	64	79	74	
	Alcalinidade total	mg/L	8,1	----	----	
	COT	mg/L	7,5	4,2	1,3	
	Clorofila <i>a</i>	µg/L	24,18	6,73	3,72	
	Cianobactérias	Ind./mL	101.028	17.327	981	
		Cél./mL	841.563	220.679	4.578	

Pré- O₃ = Pré-Ozonizada; Pós - O₃ = Pós-Ozonizada;

< 1 = valor menor do que 1 uH

A tabela C.3.8 apresenta os valores dos parâmetros de qualidade de água analisados nas amostras de água das diferentes etapas das seqüências de tratamento dos Ensaios 3.3 e 3.4

Tabela C.3.8 – Parâmetros analisados nas amostras de água das diferentes etapas das seqüências de tratamento dos Ensaios 3.3 e 3.4

Ensaios	Parâmetros		Água Bruta	Água Pré-O ₃	Água Filtrada	Água Pós-O ₃
Ensaio 3.3 (21/02/06)	Turbidez	uT	6,42	2,56	0,42	
	Cor aparente	uH	86	28	< 1	
	Cor verdadeira	uH	7	2	< 1	
	pH		7,08	6,60	5,48	
	Temperatura	°C	27,3	----	----	
	Sólidos Totais Dissolvidos	mg/L	34	37	41	
	Condutividade elétrica	µS/cm	68	74	82	
	Alcalinidade total	mg/L	6,0	----	----	
	COT	mg/L	8,0	4,7	1,3	
	Clorofila <i>a</i>	µg/L	29,75	8,77	4,65	
	Cianobactérias	Ind./mL	104.744	52.729	1.798	
		Cél./mL	928.051	670.674	3.595	
Ensaio 3.4 (23/02/06)	Turbidez	uT	4,98		0,48	0,45
	Cor aparente	uH	79		5	2
	Cor verdadeira	uH	6		< 1	< 1
	pH		6,60		5,33	5,30
	Temperatura	°C	27,2		----	----
	Sólidos Totais Dissolvidos	mg/L	38		38	40
	Condutividade elétrica	µS/cm	76		77	81
	Alcalinidade total	mg/L	8,0		----	----
	COT	mg/L	9,6		3,7	1,9
	Clorofila <i>a</i>	µg/L	37,20		7,89	5,12
	Cianobactérias	Ind./mL	114.820		18.852	7.412
		Cél./mL	1.058.653		139.746	80.814

Pré- O₃ = Pré-Ozonizada; Pós - O₃ = Pós-Ozonizada;

< 1 = valor menor do que 1 uH

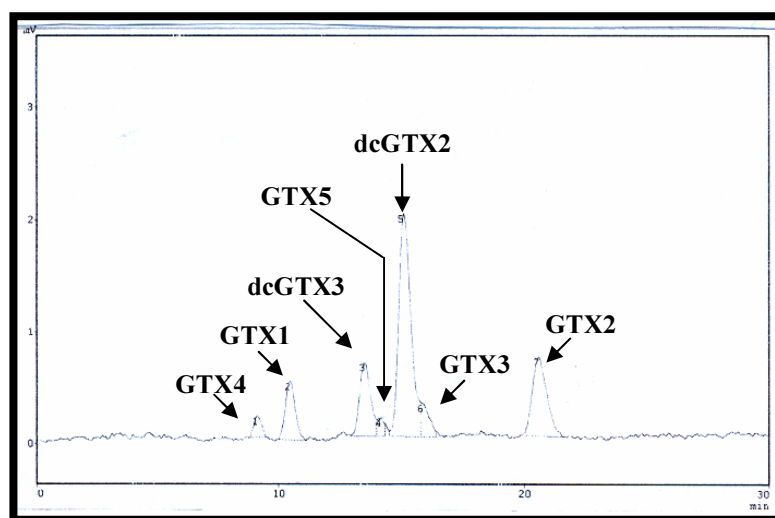
C.3.4 - Cálculo da concentração de saxitoxinas em amostras de água coletadas nas diferentes etapas das seqüências de tratamento investigadas na Fase 3

- **Determinação do fator concentração/área para os cromatogramas dos padrões de saxitoxinas**

1.1 – GTX1, GTX2, GTX3, GTX4, GTX5, dcGTX2 e dcGTX3

Primeiro Cromatograma (1°PGTX)

A figura C.1 apresenta o primeiro cromatograma (1°PGTX) do “mix de padrões” contendo as saxitoxinas GTX1, GTX2, GTX3, GTX4, GTX5, dcGTX2 e dcGTX3.



toxina	tempo	área
GTX4	9,115	4290
GTX1	10,445	14914
dcGTX3	13,519	20600
GTX5	14,175	2959
dcGTX2	15,089	69647
GTX3	15,892	6670
GTX2	20,582	29030

Figura C.1: Cromatograma 1°PGTX

Cálculo do fator concentração/área para Goniatoxina 1 (GTX1) no 1°PGTX

Concentração do padrão de GTX1

→ $109,02 \text{ ng/mL} = 109,02 \mu\text{g/L} = 109,02 \text{ pg}/\mu\text{L}$

Volume injetado do padrão

→ $10 \mu\text{L}$

No volume injetado tem-se

→ $1090,20 \text{ pg}$ de GTX1

Analisando o cromatograma 1°PGTX, verifica-se que o pico para GTX1 apresenta uma área de 14914. Esta área corresponde a $1090,20 \text{ pg}$ de GTX1. Assim, em uma unidade de área tem-se $0,07310 \text{ pg}$ de GTX1.

O Fator concentração/área da GTX1 para o cromatograma 1°PGTX é $0,07310 \text{ pg}/\text{área}$

Cálculo do fator concentração/área para Goniatoxina 2 (GTX2) no 1°PGTX

Concentração do padrão de GTX2

→ $60,00 \text{ ng/mL} = 60,00 \mu\text{g/L} = 60,00 \text{ pg}/\mu\text{L}$

Volume injetado do padrão
 → 10µL
 No volume injetado tem-se
 → 600,00pg de GTX2

Analisando o cromatograma 1°PGTX, verifica-se que o pico para GTX2 apresenta uma área de 29030. Esta área corresponde a 600,00pg de GTX2. Assim, em uma unidade de área tem-se 0,02067pg de GTX2.

O Fator concentração/área da GTX2 para o cromatograma 1°PGTX é 0,02067pg/área

Cálculo do fator concentração/área para Goniauxina 3 (GTX3) no 1°PGTX

Concentração do padrão de GTX3
 → 14,50ng/mL = 14,50µg/L = 14,50pg/µL
 Volume injetado do padrão
 → 10µL
 No volume injetado tem-se
 → 145,00pg de GTX3

Analisando o cromatograma 1°PGTX, verifica-se que o pico para GTX3 apresenta uma área de 6670. Esta área corresponde a 145,00pg de GTX3. Assim, em uma unidade de área tem-se 0,02174pg de GTX3.

O Fator concentração/área da GTX3 para o cromatograma 1°PGTX é 0,02174pg/área

Cálculo do fator concentração/área para Goniauxina 4 (GTX4) no 1°PGTX

Concentração do padrão de GTX4
 → 35,99ng/mL = 35,99µg/L = 35,99pg/µL
 Volume injetado do padrão
 → 10µL
 No volume injetado tem-se
 → 359,90pg de GTX4

Analisando o cromatograma 1°PGTX, verifica-se que o pico para GTX4 apresenta uma área de 4290. Esta área corresponde a 359,90pg de GTX4. Assim, em uma unidade de área tem-se 0,08389pg de GTX4.

O Fator concentração/área da GTX4 para o cromatograma 1°PGTX é 0,08389pg/área

Cálculo do fator concentração/área para Goniauxina 5 (GTX5) no 1°PGTX

Concentração do padrão de GTX5
 → 61,65ng/mL = 61,65µg/L = 61,65pg/µL
 Volume injetado do padrão
 → 10µL

No volume injetado tem-se
 → 616,50pg de GTX5

Analisando o cromatograma 1°PGTX, verifica-se que o pico para GTX5 apresenta uma área de 2959. Esta área corresponde a 616,50pg de GTX5. Assim, em uma unidade de área tem-se 0,20835pg de GTX5.

O Fator concentração/área da GTX5 para o cromatograma 1°PGTX é 0,20835pg/área

Cálculo do fator concentração/área para Decarbamoilgoniautoxina 2 (dcGTX 2) no 1°PGTX

Concentração do padrão de dcGTX2
 → 100,40ng/mL = 100,40µg/L = 100,40pg/µL
 Volume injetado do padrão
 → 10µL
 No volume injetado tem-se
 → 1004,00pg de dcGTX2

Analisando o cromatograma 1°PGTX, verifica-se que o pico para dcGTX2 apresenta uma área de 69647. Esta área corresponde a 1004,00pg de dcGTX2. Assim, em uma unidade de área tem-se 0,01442pg de dcGTX2.

O Fator concentração/área da dcGTX2 para o cromatograma 1°PGTX é 0,01442pg/área

Cálculo do fator concentração/área para Decarbamoilgoniautoxina 3 (dcGTX 3) no 1°PGTX

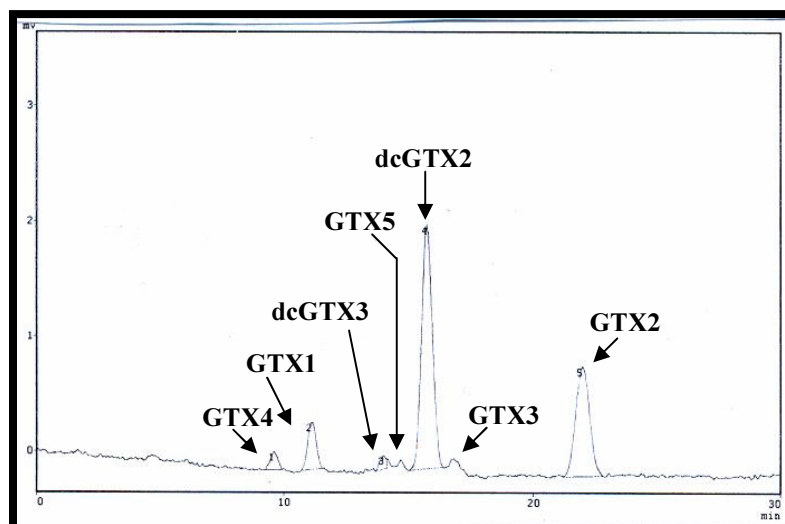
Concentração do padrão de dcGTX3
 → 28,18ng/mL = 28,18µg/L = 28,18pg/µL
 Volume injetado do padrão
 → 10µL
 No volume injetado tem-se
 → 281,80pg de dcGTX3

Analisando o cromatograma 1°PGTX, verifica-se que o pico para dcGTX3 apresenta uma área de 20600. Esta área corresponde a 281,80pg de dcGTX3. Assim, em uma unidade de área tem-se 0,01368pg de dcGTX3.

O Fator concentração/área da dcGTX3 para o cromatograma 1°PGTX é 0,01368pg/área

Segundo Cromatograma (2°PGTX)

A figura C.2 apresenta o segundo cromatograma (2°PGTX) do “mix de padrões” contendo as saxitoxinas GTX1, GTX2, GTX3, GTX4, GTX5, dcGTX2 e dcGTX3.



toxina	tempo	área
GTX4	9,583	3321
GTX1	11,091	9909
dcGTX3	14,015	2155
GTX5	14,676	749
dcGTX2	15,730	63729
GTX3	16,791	1904
GTX2	21,937	37486

Figura C.2: Cromatograma

2°PGTX

Cálculo do fator concentração/área para Goniatoxina 1 (GTX1) no 2°PGTX

Concentração do padrão de GTX1

→ $109,02\text{ng/mL} = 109,02\mu\text{g/L} = 109,02\mu\text{g}/\mu\text{L}$

Volume injetado do padrão

→ $15\mu\text{L}$

No volume injetado tem-se

→ $1635,30\mu\text{g}$ de GTX1

Analisando o cromatograma 2°PGTX, verifica-se que o pico para GTX1 apresenta uma área de 9909. Esta área corresponde a $1635,30\mu\text{g}$ de GTX1. Assim, em uma unidade de área tem-se $0,16503\mu\text{g}$ de GTX1.

O Fator concentração/área da GTX1 para o cromatograma 2°PGTX é $0,16503\mu\text{g}/\text{área}$

Cálculo do fator concentração/área para Goniatoxina 2 (GTX2) no 2°PGTX

Concentração do padrão de GTX2

→ $60,00\text{ng/mL} = 60,00\mu\text{g/L} = 60,00\mu\text{g}/\mu\text{L}$

Volume injetado do padrão

→ $15\mu\text{L}$

No volume injetado tem-se

→ $900,00\mu\text{g}$ de GTX2

Analisando o cromatograma 2°PGTX, verifica-se que o pico para GTX2 apresenta uma área de 37486. Esta área corresponde a $900,00\mu\text{g}$ de GTX2. Assim, em uma unidade de área tem-se $0,02401\mu\text{g}$ de GTX2.

O Fator concentração/área da GTX2 para o cromatograma 2°PGTX é $0,02401\mu\text{g}/\text{área}$

Cálculo do fator concentração/área para Goniatóxina 3 (GTX3) no 2°PGTX

Concentração do padrão de GTX3

→ $14,50\text{ng/mL} = 14,50\mu\text{g/L} = 14,50\text{pg}/\mu\text{L}$

Volume injetado do padrão

→ $15\mu\text{L}$

No volume injetado tem-se

→ $217,50\text{pg}$ de GTX3

Analisando o cromatograma 2°PGTX, verifica-se que o pico para GTX3 apresenta uma área de 1904. Esta área corresponde a $217,50\text{pg}$ de GTX3. Assim, em uma unidade de área tem-se $0,11423\text{pg}$ de GTX3.

O Fator concentração/área da GTX3 para o cromatograma 2°PGTX é $0,11423\text{pg}/\text{área}$

Cálculo do fator concentração/área para Goniatóxina 4 (GTX4) no 2°PGTX

Concentração do padrão de GTX4

→ $35,99\text{ng/mL} = 35,99\mu\text{g/L} = 35,99\text{pg}/\mu\text{L}$

Volume injetado do padrão

→ $15\mu\text{L}$

No volume injetado tem-se

→ $539,85\text{pg}$ de GTX4

Analisando o cromatograma 2°PGTX, verifica-se que o pico para GTX4 apresenta uma área de 3321. Esta área corresponde a $539,85\text{pg}$ de GTX4. Assim, em uma unidade de área tem-se $0,16256\text{pg}$ de GTX4.

O Fator concentração/área da GTX4 para o cromatograma 2°PGTX é $0,16256\text{pg}/\text{área}$

Cálculo do fator concentração/área para Goniatóxina 5 (GTX5) no 2°PGTX

Concentração do padrão de GTX5

→ $61,65\text{ng/mL} = 61,65\mu\text{g/L} = 61,65\text{pg}/\mu\text{L}$

Volume injetado do padrão

→ $15\mu\text{L}$

No volume injetado tem-se

→ $924,75\text{pg}$ de GTX5

Analisando o cromatograma 2°PGTX, verifica-se que o pico para GTX5 apresenta uma área de 749. Esta área corresponde a $924,75\text{pg}$ de GTX5. Assim, em uma unidade de área tem-se $1,23465\text{pg}$ de GTX5.

O Fator concentração/área da GTX5 para o cromatograma 2°PGTX é $1,23465\text{pg}/\text{área}$

Cálculo do fator concentração/área para Decarbamoilgoniautoxina 2 (dcGTX 2) no 2-PGTX

Concentração do padrão de dcGTX2

→ $100,40\text{ng/mL} = 100,40\mu\text{g/L} = 100,40\mu\text{g}/\mu\text{L}$

Volume injetado do padrão

→ $15\mu\text{L}$

No volume injetado tem-se

→ $1506,00\mu\text{g}$ de dcGTX2

Analisando o cromatograma 2°PGTX, verifica-se que o pico para dcGTX2 apresenta uma área de 63729. Esta área corresponde a $1506,00\mu\text{g}$ de dcGTX2. Assim, em uma unidade de área tem-se $0,02363\mu\text{g}$ de dcGTX2.

O Fator concentração/área da dcGTX2 para o cromatograma 2°PGTX é $0,02363\mu\text{g}/\text{área}$

Cálculo do fator concentração/área para Decarbamoilgoniautoxina 3 (dcGTX 3) no 2°PGTX

Concentração do padrão de dcGTX3

→ $28,18\text{ng/mL} = 28,18\mu\text{g/L} = 28,18\mu\text{g}/\mu\text{L}$

Volume injetado do padrão

→ $15\mu\text{L}$

No volume injetado tem-se

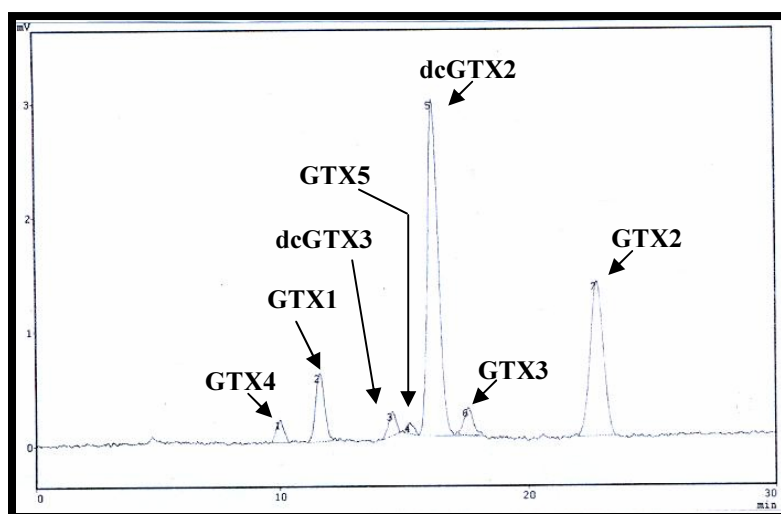
→ $422,70\mu\text{g}$ de dcGTX3

Analisando o cromatograma 2°PGTX, verifica-se que o pico para dcGTX3 apresenta uma área de 2155. Esta área corresponde a $422,70\mu\text{g}$ de dcGTX3. Assim, em uma unidade de área tem-se $0,19615\mu\text{g}$ de dcGTX3.

O Fator da concentração/área dcGTX3 para o cromatograma 2°PGTX é $0,19615\mu\text{g}/\text{área}$

Terceiro Cromatograma (3°PGTX)

A figura C.3 apresenta o terceiro cromatograma (3°PGTX) do “mix de padrões” contendo as saxitoxinas GTX1, GTX2, GTX3, GTX4, GTX5, dcGTX2 e dcGTX3.



toxina	tempo	área
GTX4	9,991	4212
GTX1	11,613	15120
dcGTX3	14,533	4384
GTX5	15,243	1778
dcGTX2	16,204	87670
GTX3	17,567	5908
GTX2	22,713	50093

Figura C.3: Cromatograma 3°PGTX

Cálculo do fator concentração/área para Goniauxina 1 (GTX1) no 3°PGTX

Concentração do padrão de GTX1

→ $109,02\text{ng/mL} = 109,02\mu\text{g/L} = 109,02\text{pg}/\mu\text{L}$

Volume injetado do padrão

→ $15\mu\text{L}$

No volume injetado tem-se

→ $1635,30\text{pg}$ de GTX1

Analisando o cromatograma 3°PGTX, verifica-se que o pico para GTX1 apresenta uma área de 15120. Esta área corresponde a $1635,30\text{pg}$ de GTX1. Assim, em uma unidade de área tem-se $0,10815\text{pg}$ de GTX1.

O Fator concentração/área da GTX1 para o cromatograma 3°PGTX é $0,10815\text{pg}/\text{área}$

Cálculo do fator concentração/área para Goniauxina 2 (GTX2) no 3°PGTX

Concentração do padrão de GTX2

→ $60,00\text{ng/mL} = 60,00\mu\text{g/L} = 60,00\text{pg}/\mu\text{L}$

Volume injetado do padrão

→ $15\mu\text{L}$

No volume injetado tem-se

→ $900,00\text{pg}$ de GTX2

Analisando o cromatograma 3°PGTX, verifica-se que o pico para GTX2 apresenta uma área de 50093. Esta área corresponde a $900,00\text{pg}$ de GTX2. Assim, em uma unidade de área tem-se $0,01797\text{pg}$ de GTX2.

O Fator concentração/área da GTX2 para o cromatograma 3°PGTX é $0,01797\text{pg}/\text{área}$

Cálculo do fator concentração/área para Goniauxina 3 (GTX3) no 3°PGTX

Concentração do padrão de GTX3

→ $14,50\text{ng/mL} = 14,50\mu\text{g/L} = 14,50\text{pg}/\mu\text{L}$

Volume injetado do padrão

→ $15\mu\text{L}$

No volume injetado tem-se

→ $217,50\text{pg}$ de GTX3

Analisando o cromatograma 3°PGTX, verifica-se que o pico para GTX3 apresenta uma área de 5908. Esta área corresponde a $217,50\text{pg}$ de GTX3. Assim, em uma unidade de área tem-se $0,03681\text{pg}$ de GTX3.

O Fator concentração/área da GTX3 para o cromatograma 3°PGTX é $0,03681\text{pg}/\text{área}$

Cálculo do fator concentração/área para Goniauxina 4 (GTX4) no 3°PGTX

Concentração do padrão de GTX4
 → $35,99\text{ng/mL} = 35,99\mu\text{g/L} = 35,99\text{pg}/\mu\text{L}$
 Volume injetado do padrão
 → $15\mu\text{L}$
 No volume injetado tem-se
 → $539,85\text{pg}$ de GTX4

Analisando o cromatograma 3°PGTX, verifica-se que o pico para GTX4 apresenta uma área de 4212. Esta área corresponde a $539,85\text{pg}$ de GTX4. Assim, em uma unidade de área tem-se $0,12817\text{pg}$ de GTX4.

O Fator concentração/área da GTX4 para o cromatograma 3°PGTX é $0,12817\text{pg}/\text{área}$

Cálculo do fator concentração/área para Goniauxina 5 (GTX5) no 3°PGTX

Concentração do padrão de GTX5
 → $61,65\text{ng/mL} = 61,65\mu\text{g/L} = 61,65\text{pg}/\mu\text{L}$
 Volume injetado do padrão
 → $15\mu\text{L}$
 No volume injetado tem-se
 → $924,75\text{pg}$ de GTX5

Analisando o cromatograma 3°PGTX, verifica-se que o pico para GTX5 apresenta uma área de 1778. Esta área corresponde a $924,75\text{pg}$ de GTX5. Assim, em uma unidade de área tem-se $0,52011\text{pg}$ de GTX5.

O Fator concentração/área da GTX5 para o cromatograma 3°PGTX é $0,52011\text{pg}/\text{área}$

Cálculo do fator concentração/área para Decarbamoilgoniauxina 2 (dcGTX 2) no 3°PGTX

Concentração do padrão de dcGTX2
 → $100,40\text{ng/mL} = 100,40\mu\text{g/L} = 100,40\text{pg}/\mu\text{L}$
 Volume injetado do padrão
 → $15\mu\text{L}$
 No volume injetado tem-se
 → $1506,00\text{pg}$ de dcGTX2

Analisando o cromatograma 3°PGTX, verifica-se que o pico para dcGTX2 apresenta uma área de 87670. Esta área corresponde a $1506,00\text{pg}$ de dcGTX2. Assim, em uma unidade de área tem-se $0,01718\text{pg}$ de dcGTX2.

O Fator concentração/área da dcGTX2 para o cromatograma 3°PGTX é $0,01718\text{pg}/\text{área}$

Cálculo do fator concentração/área para Decarbamoilgoniautoxina 3 (dcGTX 3) no 3°PGTX

Concentração do padrão de dcGTX3

→ $28,18\text{ng/mL} = 28,18\mu\text{g/L} = 28,18\text{pg}/\mu\text{L}$

Volume injetado do padrão

→ $15\mu\text{L}$

No volume injetado tem-se

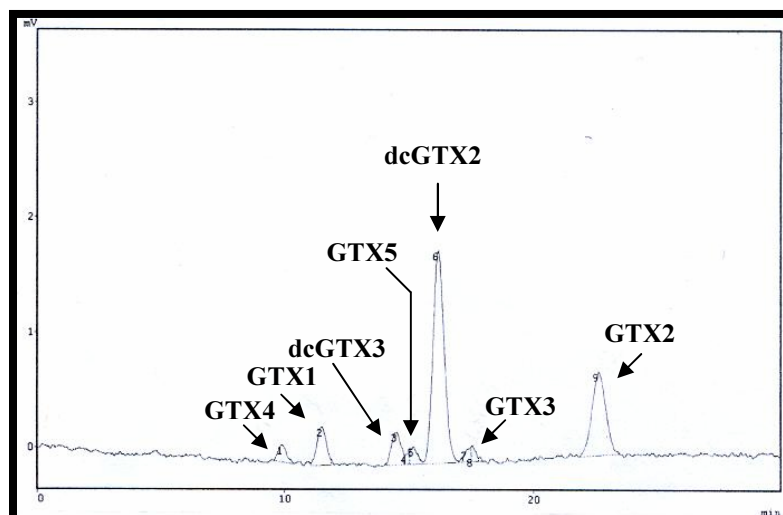
→ $422,70\text{pg}$ de dcGTX3

Analisando o cromatograma 3°PGTX, verifica-se que o pico para dcGTX3 apresenta uma área de 4384. Esta área corresponde a $422,70\text{pg}$ de dcGTX3. Assim, em uma unidade de área tem-se $0,09642\text{pg}$ de dcGTX3.

O Fator concentração/área da dcGTX3 para o cromatograma 3°PGTX é $0,09642\text{pg}/\text{área}$

Quarto Cromatograma (4°PGTX)

A figura C.4 apresenta o quarto cromatograma (4°PGTX) do “mix de padrões” contendo as saxitoxinas GTX1, GTX2, GTX3, GTX4, GTX5, dcGTX2 e dcGTX3.



toxina	Tempo	área
GTX4	9,904	3517
GTX1	11,534	8763
dcGTX3	14,517	7547
GTX5	15,186	3970
dcGTX2	16,219	57282
GTX3	17,547	3466
GTX2	22,629	28078

Figura C.4: Cromatograma 4°PGTX

Cálculo do fator concentração/área para Goniattoxina 1 (GTX1) no 4°PGTX

Concentração do padrão de GTX1

→ $109,02\text{ng/mL} = 109,02\mu\text{g/L} = 109,02\text{pg}/\mu\text{L}$

Volume injetado do padrão

→ $10\mu\text{L}$

No volume injetado tem-se

→ $1090,20\text{pg}$ de GTX1

Analisando o cromatograma 4°PGTX, verifica-se que o pico para GTX1 apresenta uma área de 8763. Esta área corresponde a $1090,20\text{pg}$ de GTX1. Assim, em uma unidade de área tem-se $0,12441\text{pg}$ de GTX1.

O Fator da concentração/área GTX1 para o cromatograma 4°PGTX é $0,12441\text{pg}/\text{área}$

Cálculo do fator concentração/área para Goniatóxina 2 (GTX2) no 4°PGTX

Concentração do padrão de GTX2
 → $60,00\text{ng/mL} = 60,00\mu\text{g/L} = 60,00\text{pg}/\mu\text{L}$
 Volume injetado do padrão
 → $10\mu\text{L}$
 No volume injetado tem-se
 → $600,00\text{pg}$ de GTX2

Analisando o cromatograma 4°PGTX, verifica-se que o pico para GTX2 apresenta uma área de 28078. Esta área corresponde a $600,00\text{pg}$ de GTX2. Assim, em uma unidade de área tem-se $0,02137\text{pg}$ de GTX2.

O Fator concentração/área da GTX2 para o cromatograma 4°PGTX é $0,02137\text{pg}/\text{área}$

Cálculo do fator concentração/área para Goniatóxina 3 (GTX3) no 4°PGTX

Concentração do padrão de GTX3
 → $14,50\text{ng/mL} = 14,50\mu\text{g/L} = 14,50\text{pg}/\mu\text{L}$
 Volume injetado do padrão
 → $10\mu\text{L}$
 No volume injetado tem-se
 → $145,00\text{pg}$ de GTX3

Analisando o cromatograma 4°PGTX, verifica-se que o pico para GTX3 apresenta uma área de 3466. Esta área corresponde a $145,00\text{pg}$ de GTX3. Assim, em uma unidade de área tem-se $0,04183\text{pg}$ de GTX3.

O Fator concentração/área da GTX3 para o cromatograma 4°PGTX é $0,04183\text{pg}/\text{área}$

Cálculo do fator concentração/área para Goniatóxina 4 (GTX4) no 4°PGTX

Concentração do padrão de GTX4
 → $35,99\text{ng/mL} = 35,99\mu\text{g/L} = 35,99\text{pg}/\mu\text{L}$
 Volume injetado do padrão
 → $10\mu\text{L}$
 No volume injetado tem-se
 → $359,90\text{pg}$ de GTX4

Analisando o cromatograma 4°PGTX, verifica-se que o pico para GTX4 apresenta uma área de 3517. Esta área corresponde a $359,90\text{pg}$ de GTX4. Assim, em uma unidade de área tem-se $0,10233\text{pg}$ de GTX4.

O Fator concentração/área da GTX4 para o cromatograma 4°PGTX é $0,10233\text{pg}/\text{área}$

Cálculo do fator concentração/área para Goniatoxina 5 (GTX5) no 4°PGTX

Concentração do padrão de GTX5
 → $61,65\text{ng/mL} = 61,65\mu\text{g/L} = 61,65\text{pg}/\mu\text{L}$
 Volume injetado do padrão
 → $10\mu\text{L}$
 No volume injetado tem-se
 → $616,50\text{pg}$ de GTX5

Analisando o cromatograma 4°PGTX, verifica-se que o pico para GTX5 apresenta uma área de 3970. Esta área corresponde a $616,50\text{pg}$ de GTX5. Assim, em uma unidade de área tem-se $0,15529\text{pg}$ de GTX5.

O Fator concentração/área da GTX5 para o cromatograma 4°PGTX é $0,15529\text{pg}/\text{área}$

Cálculo do fator concentração/área para Decarbamoilgoniatoxina 2 (dcGTX 2) no 4°PGTX

Concentração do padrão de dcGTX2
 → $100,40\text{ng/mL} = 100,40\mu\text{g/L} = 100,40\text{pg}/\mu\text{L}$
 Volume injetado do padrão
 → $10\mu\text{L}$
 No volume injetado tem-se
 → $1004,00\text{pg}$ de dcGTX2

Analisando o cromatograma 4°PGTX, verifica-se que o pico para dcGTX2 apresenta uma área de 57282. Esta área corresponde a $1004,00\text{pg}$ de dcGTX2. Assim, em uma unidade de área tem-se $0,01753\text{pg}$ de dcGTX2.

O Fator concentração/área da dcGTX2 para o cromatograma 4°PGTX é $0,01753\text{pg}/\text{área}$

Cálculo do fator concentração/área para Decarbamoilgoniatoxina 3 (dcGTX 3) no 4°PGTX

Concentração do padrão de dcGTX3
 → $28,18\text{ng/mL} = 28,18\mu\text{g/L} = 28,18\text{pg}/\mu\text{L}$
 Volume injetado do padrão
 → $10\mu\text{L}$
 No volume injetado tem-se
 → $281,80\text{pg}$ de dcGTX3

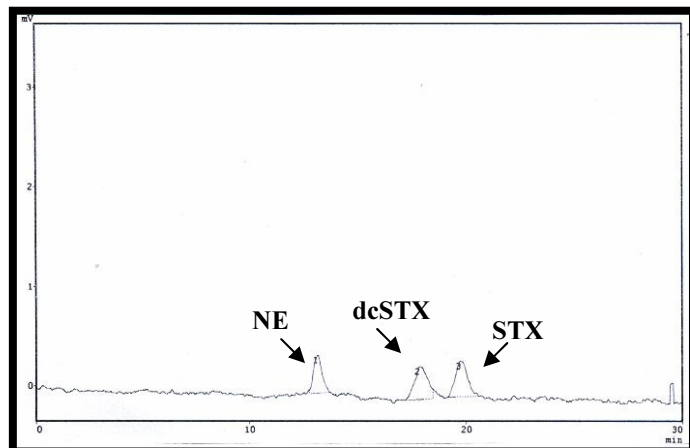
Analisando o cromatograma 4°PGTX, verifica-se que o pico para dcGTX3 apresenta uma área de 7547. Esta área corresponde a $281,80\text{pg}$ de dcGTX3. Assim, em uma unidade de área tem-se $0,03734\text{pg}$ de dcGTX3.

O Fator concentração/área da dcGTX3 para o cromatograma 4°PGTX é $0,03734\text{pg}/\text{área}$

1.2 – STX, dcSTX e NEO

Primeiro Cromatograma (1°PSTX)

A figura C.5 apresenta o primeiro cromatograma (1°PSTX) do “mix de padrões” contendo as saxitoxinas STX, dcSTX e NEO.



toxina	Tempo	área
NEO	13,174	10371
dcSTX	17,834	13952
STX	19,728	14122

Figura C.5: Cromatograma 1°PSTX

Cálculo do fator concentração/área para Saxitoxina (STX) no 1°PSTX

Concentração do padrão de STX

→ $80,643 \text{ ng/mL} = 80,643 \mu\text{g/L} = 80,643 \mu\text{g}/\mu\text{L}$

Volume injetado do padrão

→ $20 \mu\text{L}$

No volume injetado tem-se

→ $1612,86 \mu\text{g}$ de STX

Analisando o cromatograma 1°PSTX, verifica-se que o pico para STX apresenta uma área de 14122. Esta área corresponde a $1612,86 \mu\text{g}$ de STX. Assim, em uma unidade de área tem-se $0,11421 \mu\text{g}$ de STX.

O Fator concentração/área da STX para o cromatograma 1°PSTX é $0,11421 \mu\text{g}/\text{área}$

Cálculo do fator concentração/área para Decarbamoilsaxitoxina (dcSTX) no 1°PSTX

Concentração do padrão de dcSTX

→ $71,368 \text{ ng/mL} = 71,368 \mu\text{g/L} = 71,368 \mu\text{g}/\mu\text{L}$

Volume injetado do padrão

→ $20 \mu\text{L}$

No volume injetado tem-se

→ $1427,36 \mu\text{g}$ de dcSTX

Analisando o cromatograma 1°PSTX, verifica-se que o pico para dcSTX apresenta uma área de 13952. Esta área corresponde a $1427,36 \mu\text{g}$ de dcSTX. Assim, em uma unidade de área tem-se $0,10231 \mu\text{g}$ de STX.

O Fator concentração/área da dcSTX para o cromatograma 1°PSTX é $0,10231 \mu\text{g}/\text{área}$

Cálculo do fator concentração/área para Neosaxitoxina (NEO) no 1ºPSTX

Concentração do padrão de NEO

→ $84,11 \text{ ng/mL} = 84,11 \mu\text{g/L} = 84,11 \mu\text{g}/\mu\text{L}$

Volume injetado do padrão

→ $20 \mu\text{L}$

No volume injetado tem-se

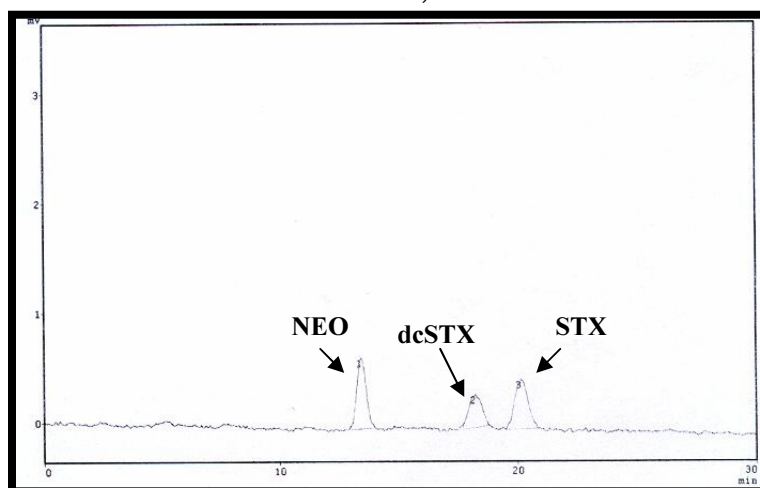
→ $1682,20 \mu\text{g}$ de NEO

Analisando o cromatograma 1ºPSTX, verifica-se que o pico para NEO apresenta uma área de 10371. Esta área corresponde a $1682,20 \mu\text{g}$ de NEO. Assim, em uma unidade de área tem-se $0,16220 \mu\text{g}$ de NEO.

O Fator concentração/área da NEO para o cromatograma 1ºPSTX é $0,16220 \mu\text{g}/\text{área}$

Segundo Cromatograma (2ºPSTX)

A figura C.6 apresenta o segundo cromatograma (2ºPSTX) do “mix de padrões” contendo as saxitoxinas STX, dcSTX e NEO.



toxina	tempo	área
NEO	13,437	17980
dcSTX	18,233	11499
STX	20,139	17534

Figura C.6: Cromatograma 2ºPSTX

Cálculo do fator concentração/área para Saxitoxina (STX) no 2ºPSTX

Concentração do padrão de STX

→ $80,643 \text{ ng/mL} = 80,643 \mu\text{g/L} = 80,643 \mu\text{g}/\mu\text{L}$

Volume injetado do padrão

→ $30 \mu\text{L}$

No volume injetado tem-se

→ $2419,29 \mu\text{g}$ de STX

Analisando o cromatograma 2ºPSTX, verifica-se que o pico para STX apresenta uma área de 17534. Esta área corresponde a $2419,29 \mu\text{g}$ de STX. Assim, em uma unidade de área tem-se $0,13798 \mu\text{g}$ de STX.

O Fator concentração/área da STX para o cromatograma 2ºPSTX é $0,13798 \mu\text{g}/\text{área}$

Cálculo do fator concentração/área para Decarbamoilsaxitoxina (dcSTX) no 2ºPSTX

Concentração do padrão de dcSTX

→ $71,368 \text{ ng/mL} = 71,368 \mu\text{g/L} = 71,368 \text{ pg}/\mu\text{L}$

Volume injetado do padrão

→ $30 \mu\text{L}$

No volume injetado tem-se

→ $2141,04 \text{ pg}$ de dcSTX

Analisando o cromatograma 2ºPSTX, verifica-se que o pico para dcSTX apresenta uma área de 11499. Esta área corresponde a $2141,04 \text{ pg}$ de dcSTX. Assim, em uma unidade de área tem-se $0,18619 \text{ pg}$ de STX.

O Fator concentração/área da dcSTX para o cromatograma 2ºPSTX é $0,18619 \text{ pg}/\text{área}$

Cálculo do fator concentração/área para Neosaxitoxina (NEO) no 2ºPSTX

Concentração do padrão de NEO

→ $84,11 \text{ ng/mL} = 84,11 \mu\text{g/L} = 84,11 \text{ pg}/\mu\text{L}$

Volume injetado do padrão

→ $30 \mu\text{L}$

No volume injetado tem-se

→ $2523,30 \text{ pg}$ de NEO

Analisando o cromatograma 2ºPSTX, verifica-se que o pico para NEO apresenta uma área de 17980. Esta área corresponde a $2523,30 \text{ pg}$ de NEO. Assim, em uma unidade de área tem-se $0,14034 \text{ pg}$ de NEO.

O Fator concentração/área da NEO para o cromatograma 2ºPSTX é $0,14034 \text{ pg}/\text{área}$

2 – Determinação da concentração de saxitoxinas nas amostras de água das diferentes etapas das seqüências de tratamento investigadas

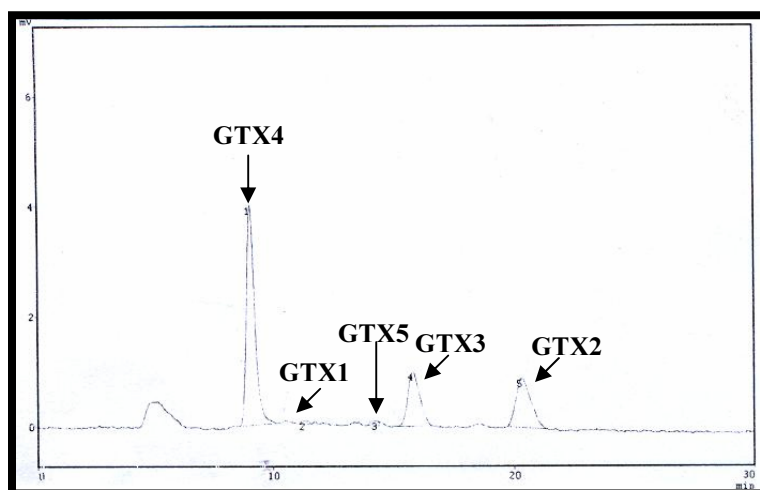
Os cromatogramas das amostras de água foram comparados aos cromatogramas de dois “mix de padrões” de saxitoxinas. O primeiro composto por GTX1, GTX2, GTX3, GTX4, GTX5, dcGTX2 e dcGTX3, e o segundo, composto por STX, dcSTX e NEO. Na análise comparativa, escolheu-se, para cada cromatograma das amostras, o cromatograma do “mix de padrões” realizado num tempo o mais próximo possível ao daquele da amostra analisada.

Ensaio 3.1 – Seqüência de tratamento composta de filtração direta descendente e pós-ozonização realizada em 07/02.

Análise cromatográfica em relação à GTX1, GTX2, GTX3, GTX4, GTX5, dcGTX2 e dcGTX3

Amostra: Água bruta (07/02) - Intracelular

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água bruta do ensaio 3.1 (intracelular), apresentado na figura C.7, identificam-se picos cromatográficos referentes às toxinas GTX4, GTX1, GTX5, GTX3 e GTX2.



toxina	tempo	Área
GTX4	9,015	98473
GTX1	10,395	1138
GTX5	14,087	1774
GTX3	15,816	34297
GTX2	20,307	38152

Figura C.7: Cromatograma da água bruta (intracelular) – Ensaio 3.1

GTX4

Área GTX4: 98473

Área x Fator = Área x Fator 1°PGTX = 98473 área x 0,08389pg/área = 8260,90pg

Volume filtrado da amostra – 750mL/ Volume do extrato da amostra – 7mL

Volume do extrato injetado – 50μL

$$\begin{array}{lcl} 8260,90\text{pg} \rightarrow & 50\mu\text{L} & \\ X\text{pg} \rightarrow & 7000\mu\text{L (volume da extração que equivale aos 750 mL filtrado)} & \end{array}$$

$$X = 1156526\text{pg}$$

$$1156526\text{pg} \rightarrow 750\text{mL}$$

$$X\text{pg} \rightarrow 1000\text{mL}$$

$$X = 1542034,67\text{pg/L} \cong 1,54\mu\text{g/L}$$

GTX4 = 1,54μg/L

GTX1

Área GTX1: 1138

Área x Fator = Área x Fator 1°PGTX = 1138 área x 0,07310pg/área = 83,19pg

Volume filtrado da amostra – 750mL/ Volume do extrato da amostra – 7mL

Volume do extrato injetado – 50µL

$$\begin{array}{ll} 83,19\text{pg} \rightarrow & 50\mu\text{L} \\ X\text{pg} \rightarrow & 7000\mu\text{L (volume da extração que equivale aos 750 mL filtrado)} \end{array}$$

$$X = 11646,60\text{pg}$$

$$\begin{array}{ll} 11646,60\text{pg} \rightarrow & 750\text{mL} \\ X\text{pg} \rightarrow & 1000\text{mL} \end{array}$$

$$X = 15528,80\text{pg/L} \cong 0,02\mu\text{g/L}$$

$$\mathbf{GTX1 = 0,02\mu g/L}$$

GTX5

Área GTX5: 1774

Área x Fator = Área x Fator 1°PGTX = 1774 área x 0,20835pg/área = 369,61pg

Volume filtrado da amostra – 750mL/ Volume do extrato da amostra – 7mL

Volume do extrato injetado – 50µL

$$\begin{array}{ll} 369,61\text{pg} \rightarrow & 50\mu\text{L} \\ X\text{pg} \rightarrow & 7000\mu\text{L (volume da extração que equivale aos 750 mL filtrado)} \end{array}$$

$$X = 51745,40\text{pg}$$

$$\begin{array}{ll} 51745,40\text{pg} \rightarrow & 750\text{mL} \\ X\text{pg} \rightarrow & 1000\text{mL} \end{array}$$

$$X = 68993,67\text{pg/L} \cong 0,07\mu\text{g/L}$$

$$\mathbf{GTX5 = 0,07\mu g/L}$$

GTX3

Área GTX3: 34297

Área x Fator = Área x Fator 1°PGTX = 34297 área x 0,02174pg/área = 745,62pg

Volume filtrado da amostra – 750mL/ Volume do extrato da amostra – 7mL

Volume do extrato injetado – 50µL

$$\begin{array}{ll} 745,62\text{pg} \rightarrow & 50\mu\text{L} \\ X\text{pg} \rightarrow & 7000\mu\text{L (volume da extração que equivale aos 750 mL filtrado)} \end{array}$$

$$X = 104386,80\text{pg}$$

$$\begin{array}{ll} 104386,80\text{pg} \rightarrow & 750\text{mL} \\ X\text{pg} \rightarrow & 1000\text{mL} \end{array}$$

$$X = 139182,40\text{pg/L} \cong 0,14\text{pg/L}$$

$$\text{GTX3} = 0,14\text{pg/L}$$

GTX2

Área GTX2: 38152

Área x Fator = Área x Fator^{1°}PGTX = 38152 área x 0,02067pg/área = 788,60pg

Volume filtrado da amostra – 750mL/ Volume do extrato da amostra – 7mL

Volume do extrato injetado – 50µL

$$\begin{array}{ll} 788,60\text{pg} \rightarrow & 50\mu\text{L} \\ X\text{pg} \rightarrow & 7000\mu\text{L (volume da extração que equivale aos 750 mL filtrado)} \end{array}$$

$$X = 110404,80\text{pg}$$

$$\begin{array}{ll} 110404,80\text{pg} \rightarrow & 750\text{mL} \\ X\text{pg} \rightarrow & 1000\text{mL} \end{array}$$

$$X = 147205,33\text{pg/L} \cong 0,15\text{pg/L}$$

$$\text{GTX2} = 0,15\text{pg/L}$$

Considerando as concentrações das variantes de saxitoxina encontradas para amostra da água bruta do ensaio 3.1 (intracelular), pode-se expressar a concentração em equivalentes de saxitoxina para esta amostra conforme a tabela C.3.9.

Tabela C.3.9 - Concentração de saxitoxinas para amostra de água bruta (intracelular) do ensaio 3.1

Toxina	Toxicidade relativa	Concentração (µg/L)	Concentração (µg/L eq. STX)
GTX1	0,9940	0,02	0,02
GTX2	0,3592	0,15	0,05
GTX3	0,6379	0,14	0,09
GTX4	0,7261	1,54	1,12
GTX5	0,0644	0,07	0,00
Total			1,28

Amostra: Água bruta (07/02) – Extracelular (Dissolvida em água)

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água bruta do ensaio 3.1 (extracelular = dissolvida em água), apresentado na figura C.8, **não se identificam** picos cromatográficos referentes às toxinas analisadas.

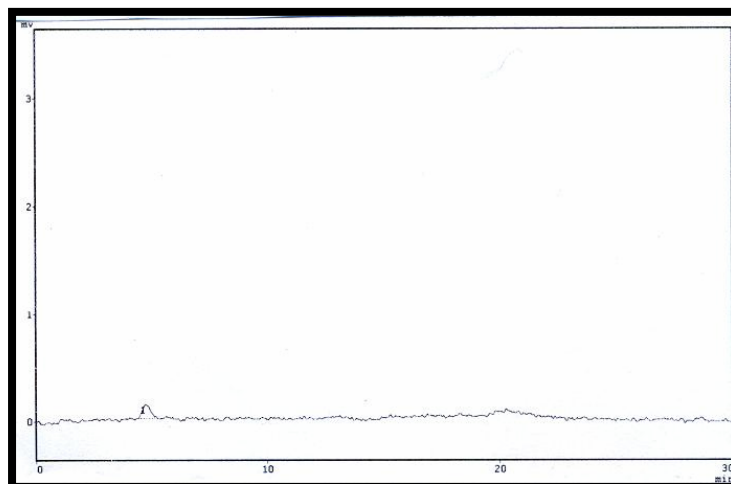
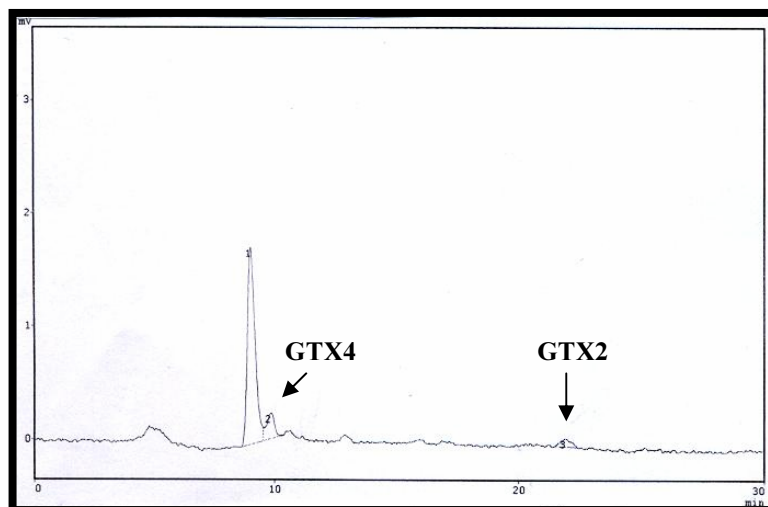


Figura C.8: Cromatograma da água bruta (extracelular) – Ensaio 3.1

Amostra: Água filtrada (07/02) – Intracelular

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água filtrada (intracelular), apresentado na figura C.9, identificam-se os picos cromatográficos referentes às toxinas GTX4 e GTX2.



toxina	Tempo	Área
GTX4	9,806	5300
GTX2	21,862	2125

Figura C.9: Cromatograma da água filtrada (intracelular) – Ensaio 3.1

GTX4

Área GTX4: 5300

Área x Fator = Área x Fator 2° PGTX = 5300 área x 0,16256pg/área = 861,57pg

Volume filtrado da amostra – 750mL/ Volume do extrato da amostra – 7mL

Volume do extrato injetado – 50μL

861,57pg → 50μL
 X pg → 7000μL (volume da extração que equivale aos 750 mL filtrado)

X = 120619,80pg

120619,80pg → 750mL

Xpg → 1000mL

$$X = 160826,40 \mu\text{g/L} = 0,16 \mu\text{g/L}$$

GTX4 = 0,16 $\mu\text{g/L}$

GTX2

Área GTX2: 2125

$$\text{Área} \times \text{Fator} = \text{Área} \times \text{Fator } 2^\circ\text{PGTX} = 2125 \text{ área} \times 0,02401 \mu\text{g/área} = 51,02 \mu\text{g}$$

$$51,02 \mu\text{g} \rightarrow 50 \mu\text{L}$$

$$X \mu\text{g} \rightarrow 7000 \mu\text{L} \text{ (volume da extração que equivale aos 750 mL filtrado)}$$

$$X = 7142,80 \mu\text{g}$$

$$7142,80 \mu\text{g} \rightarrow 750 \text{ mL}$$

$$X \mu\text{g} \rightarrow 1000 \text{ mL}$$

$$X = 9523,73 \mu\text{g/L} = 0,01 \mu\text{g/L}$$

GTX2 = 0,01 $\mu\text{g/L}$

Considerando as concentrações das variantes de saxitoxina encontradas para amostra da água filtrada do ensaio 3.1 (intracelular), pode-se expressar a concentração em equivalentes de saxitoxina para esta amostra conforme a tabela C.3.10.

Tabela C.3.10 - Concentração de saxitoxinas para amostra de água filtrada (intracelular) do ensaio 3.1

Toxina	Toxicidade relativa	Concentração ($\mu\text{g/L}$)	Concentração ($\mu\text{g/L}$ eq. STX)
GTX2	0,3592	0,01	0,00
GTX4	0,7261	0,16	0,12
		Total	0,12

Amostra: Água filtrada (07/02) – Extracelular (Dissolvida em água)

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água filtrada do ensaio 3.1 (extracelular = dissolvida em água), apresentado na figura C.10, **não se identificam** picos cromatográficos referentes às toxinas analisadas.

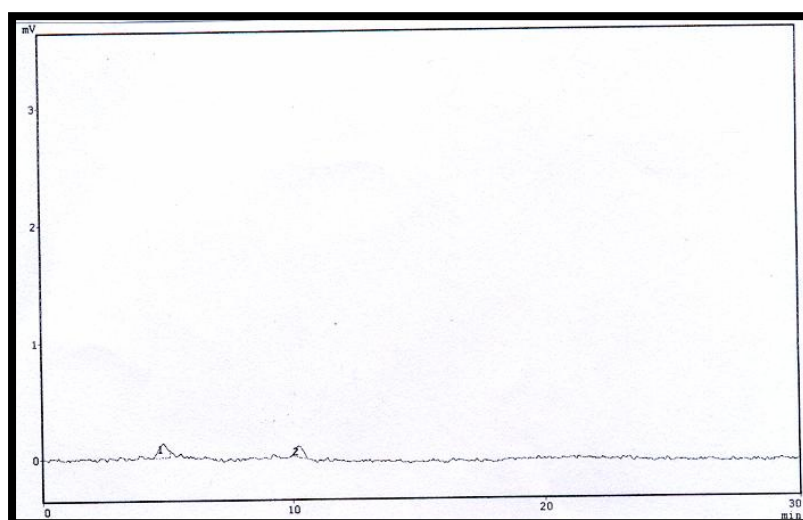
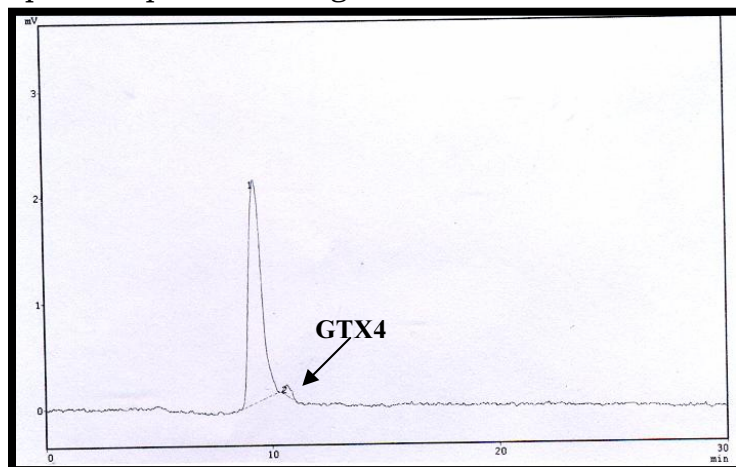


Figura C.10: Cromatograma da água filtrada (extracelular) – Ensaio 3.1

Amostra: Água pós-ozonizada (07/02) – Intracelular

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água pós-ozonizada (intracelular), apresentado na figura C.11, das variantes de saxitoxina analisadas, identifica-se apenas o pico cromatográfico referente à toxina GTX4.



toxina	tempo	Área
GTX4	10,629	2366

Figura C.11: Cromatograma da água pós-ozonizada (intracelular) – Ensaio 3.1

GTX4

Área GTX4: 2366

Área x Fator = Área x Fator 4°PGTX = 2366 área x 0,10233pg/área = 242,11pg

Volume filtrado da amostra – 750mL/ Volume do extrato da amostra – 7mL

Volume do extrato injetado – 50µL

$$\begin{array}{lcl} 242,11\text{pg} \rightarrow & 50\mu\text{L} & \\ X \text{ pg} \rightarrow & 7000\mu\text{L (volume da extração que equivale aos 750 mL filtrado)} & \end{array}$$

$$\begin{array}{lcl} X = 33895,40\text{pg} & & \\ 33895,40\text{pg} \rightarrow & 750\text{mL} & \\ X\text{pg} \rightarrow & 1000\text{mL} & \end{array}$$

$$X = 45193,87\text{pg/L} \cong 0,05\mu\text{g/L}$$

GTX4 = 0,05µg/L

Considerando a concentração da variante de saxitoxina encontrada para amostra da água pós-ozonizada do ensaio 3.1 (intracelular), pode-se expressar a concentração em equivalentes de saxitoxina para esta amostra conforme a tabela C.3.11.

Tabela C.3.11 - Concentração de saxitoxinas para amostra de água pós-ozonizada (intracelular) do ensaio 3.1

Toxina	Toxicidade relativa	Concentração (µg/L)	Concentração (µg/L eq. STX)
GTX4	0,7261	0,05	0,04
Total			0,04

Amostra: Água pós-ozonizada (07/02) – Extracelular (Dissolvida em água)

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água pós-ozonizada (extracelular = dissolvida em água) do ensaio 3.1, apresentado na figura C.12, **não se identificam** picos cromatográficos referentes às toxinas analisadas.

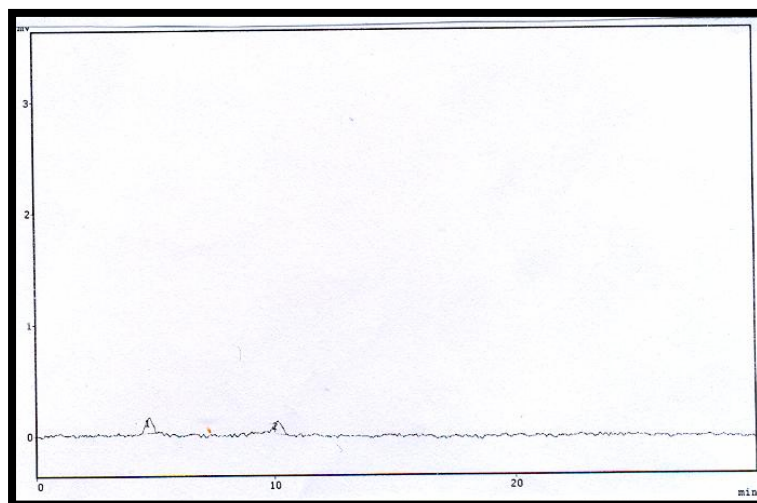


Figura C.12: Cromatograma da água pós-ozonizada (extracelular) – Ensaio 3.1

Análise cromatográfica em relação à STX, dcSTX e NEO

Amostra: Água bruta (07/02) - Intracelular

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água bruta do ensaio 3.1 (intracelular), apresentado na figura C.17, não se identificam picos cromatográficos referentes às toxinas STX, dcSGTX e NEO.

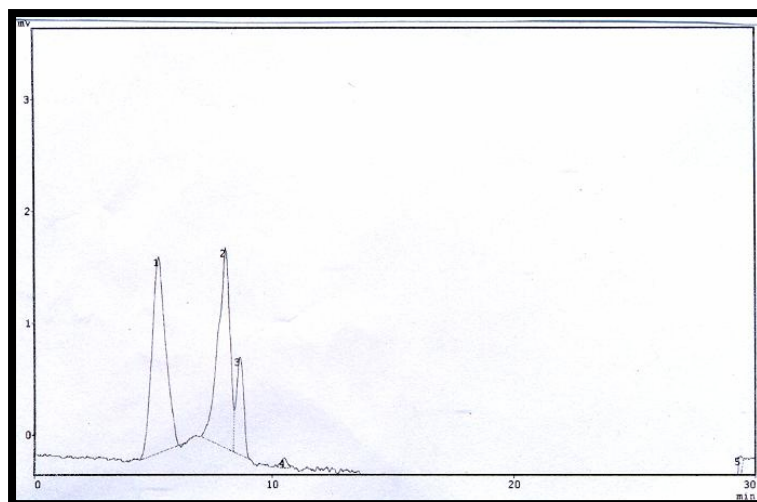


Figura C.17: Cromatograma da água bruta (intracelular) – Ensaio 3.1

Amostra: Água bruta (07/02) – Extracelular (Dissolvida em água)

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água bruta do ensaio 3.1 (extracelular), apresentado na figura C.18, não se identificam picos cromatográficos referentes às toxinas STX, dcSGTX e NEO.

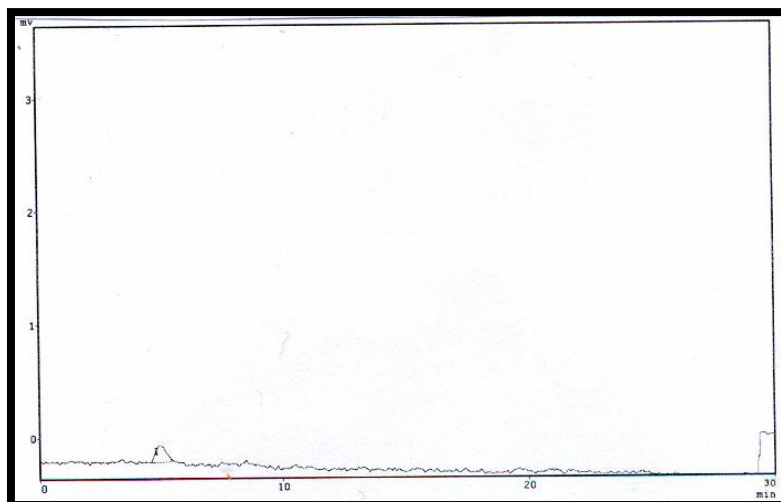
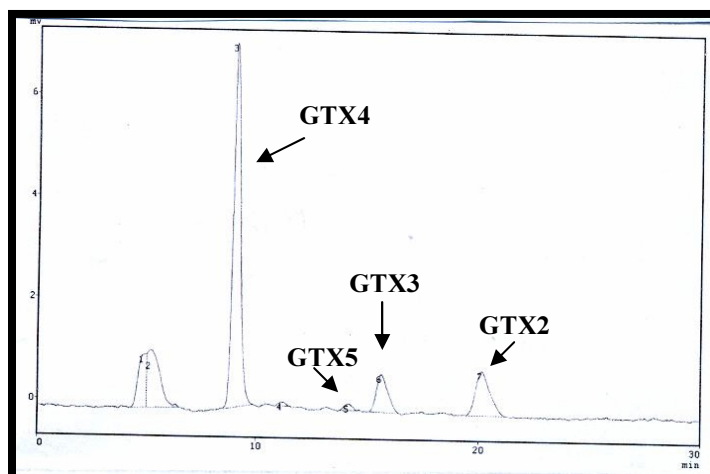


Figura C.18: Cromatograma da água bruta (extracelular) – Ensaio 3.1

Ensaio 3.2 – Sequência de tratamento composta de pré-Ozonização e filtração direta descendente realizada em 09/02.

Amostra: Água bruta (09/02) - Intracelular

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água bruta do ensaio 3.2 (intracelular), apresentado na figura C.19, identificam-se picos cromatográficos referentes às toxinas GTX4, GTX5, GTX3 e GTX2.



toxina	tempo	Área
GTX4	8,999	167856
GTX5	14,192	3233
GTX3	15,643	26233
GTX2	20,132	39193

Figura C.19: Cromatograma da água bruta (intracelular) – Ensaio 3.2

GTX4

Área GTX4: 167856

Área x Fator = Área x Fator 1°PGTX = 167856 área x 0,08389pg/área = 14081,44pg

Volume filtrado da amostra – 750mL/ Volume do extrato da amostra – 7mL

Volume do extrato injetado – 50µL

14081,44pg → 50µL
 Xpg → 7000µL (volume da extração que equivale aos 750 mL filtrado)

$$X = 1971401,6\mu\text{g}$$

$$\begin{array}{ll} 1971401,6\mu\text{g} \rightarrow & 750\text{mL} \\ X\mu\text{g} \rightarrow & 1000\text{mL} \end{array}$$

$$X = 2628535,47\mu\text{g/L} \cong 2,63\mu\text{g/L}$$

$$\mathbf{GTX4 = 2,63\mu\text{g/L}}$$

GTX5

Área GTX5: 3233

Área x Fator = Área x Fator 1°PGTX = 3233área x 0,20835pg/área = 673,60pg

Volume filtrado da amostra – 750mL/ Volume do extrato da amostra – 7mL

Volume do extrato injetado – 50μL

$$\begin{array}{ll} 673,60\mu\text{g} \rightarrow & 50\mu\text{L} \\ X\mu\text{g} \rightarrow & 7000\mu\text{L (volume da extração que equivale aos 750 mL filtrado)} \end{array}$$

$$X = 94304,00\mu\text{g}$$

$$\begin{array}{ll} 94304,00\mu\text{g} \rightarrow & 750\text{mL} \\ X\mu\text{g} \rightarrow & 1000\text{mL} \end{array}$$

$$X = 125738,67\mu\text{g/L} \cong 0,13\mu\text{g/L}$$

$$\mathbf{GTX5 = 0,13\mu\text{g/L}}$$

GTX3

Área GTX3: 26233

Área x Fator = Área x Fator 1°PGTX = 26233área x 0,02174pg/área = 570,31pg

Volume filtrado da amostra – 750mL/ Volume do extrato da amostra – 7mL

Volume do extrato injetado – 50μL

$$\begin{array}{ll} 570,31\mu\text{g} \rightarrow & 50\mu\text{L} \\ X\mu\text{g} \rightarrow & 7000\mu\text{L (volume da extração que equivale aos 750 mL filtrado)} \end{array}$$

$$X = 79843,40\mu\text{g}$$

$$\begin{array}{ll} 79843,40\mu\text{g} \rightarrow & 750\text{mL} \\ X\mu\text{g} \rightarrow & 1000\text{mL} \end{array}$$

$$X = 106457,87\mu\text{g/L} \cong 0,11\mu\text{g/L}$$

$$\mathbf{GTX3 = 0,11\mu\text{g/L}}$$

GTX2

Área GTX2: 39193

Área x Fator = Área x Fator 1°PGTX = 39193área x 0,02067pg/área = 810,12pg

Volume filtrado da amostra – 750mL/ Volume do extrato da amostra – 7mL

Volume do extrato injetado – 50μL

$$\begin{aligned} 810,12\mu\text{g} &\rightarrow 50\mu\text{L} \\ X\mu\text{g} &\rightarrow 7000\mu\text{L} \text{ (volume da extração que equivale aos 750 mL filtrado)} \end{aligned}$$

$$X = 113416,80\mu\text{g}$$

$$\begin{aligned} 113416,80\mu\text{g} &\rightarrow 750\text{mL} \\ X\mu\text{g} &\rightarrow 1000\text{mL} \end{aligned}$$

$$X = 151222,40\mu\text{g/L} \cong 0,15\mu\text{g/L}$$

$$\mathbf{GTX2 = 0,15\mu\text{g/L}}$$

Considerando as concentrações das variantes de saxitoxina encontradas na amostra da água bruta do ensaio 3.2 (intracelular), pode-se expressar a concentração em equivalentes de saxitoxina para esta amostra conforme a tabela C.3.12.

Tabela C.3.12 - Concentração de saxitoxinas para amostra de água bruta (intracelular) do ensaio 3.2

Toxina	Toxicidade relativa	Concentração ($\mu\text{g/L}$)	Concentração ($\mu\text{g/L}$ eq. STX)
GTX2	0,3592	0,15	0,05
GTX3	0,6379	0,11	0,07
GTX4	0,7261	2,63	1,91
GTX5	0,0644	0,13	0,01
Total			2,04

Amostra: Água bruta (09/02) – Extracelular (Dissolvida em água)

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água bruta do ensaio 3.2 (extracelular = dissolvida em água), apresentado na figura C.20, **não se identificam** picos cromatográficos referentes às toxinas analisadas.

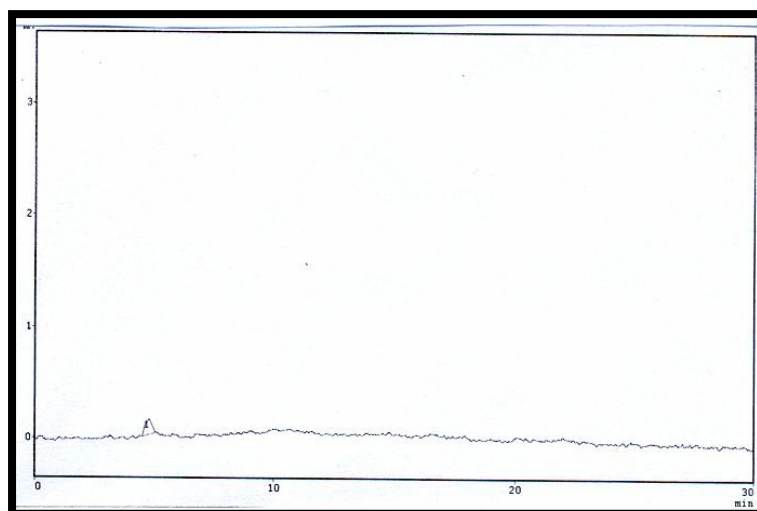
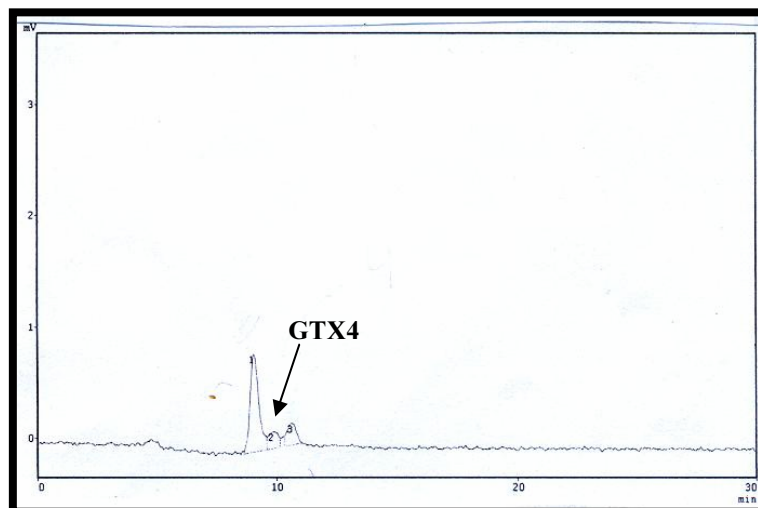


Figura C.20: Cromatograma da água bruta (extracelular) – Ensaio 3.2

Amostra: Água pré-ozonizada (09/02) – Intracelular

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água pré-ozonizada (intracelular), apresentado na figura C.21, das variantes de saxitoxina analisadas, identifica-se apenas o pico cromatográfico referente à toxina GTX4.



Toxina	Tempo	Área
GTX4	9,844	4735

Figura C.21: Cromatograma da água pré-ozonizada (intracelular) – Ensaio 3.2

GTX4

Área GTX4: 4735

Área x Fator = Área x Fator 4°PGTX = 4735 área x 0,10233pg/área = 484,53pg

Volume filtrado da amostra – 750mL/ Volume do extrato da amostra – 7mL

Volume do extrato injetado – 50µL

$$\begin{array}{lcl} 484,53\text{pg} \rightarrow & 50\mu\text{L} & \\ X\text{pg} \rightarrow & 7000\mu\text{L (volume da extração que equivale aos 750 mL filtrado)} & \end{array}$$

$$\begin{array}{lcl} X = 67834,20\text{pg} & & \\ 67834,20\text{pg} \rightarrow & 750\text{mL} & \\ X\text{pg} \rightarrow & 1000\text{mL} & \end{array}$$

$$X = 90445,60\text{pg/L} \cong 0,09\mu\text{g/L}$$

GTX4 = 0,09µg/L

Considerando a concentração da variante de saxitoxina encontrada na amostra da água pré-ozonizada do ensaio 3.2 (intracelular), pode-se expressar a concentração em equivalentes de saxitoxina para esta amostra conforme a tabela C.3.13.

Tabela C.3.13 - Concentração de saxitoxinas para amostra de água pré-ozonizada (intracelular) do Ensaio 3.2

Toxina	Toxicidade relativa	Concentração (µg/L)	Concentração (µg/L eq. STX)
GTX4	0,7261	0,09	0,07
Total			0,07

Amostra: Água pré-ozonizada (09/02) – Extracelular (Dissolvida em água)

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água pré-ozonizada do ensaio 3.2 (extracelular = dissolvida em água), apresentado na figura C.22, **não se identificam** picos cromatográficos referentes às toxinas analisadas.

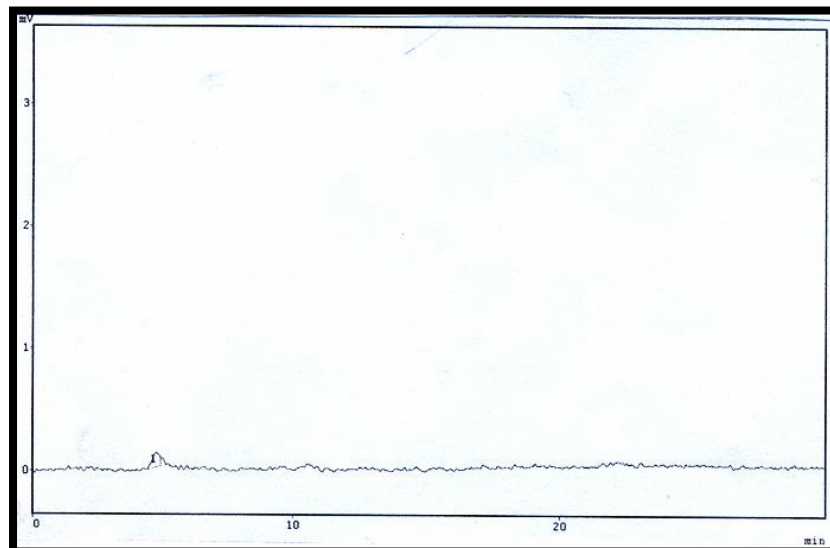
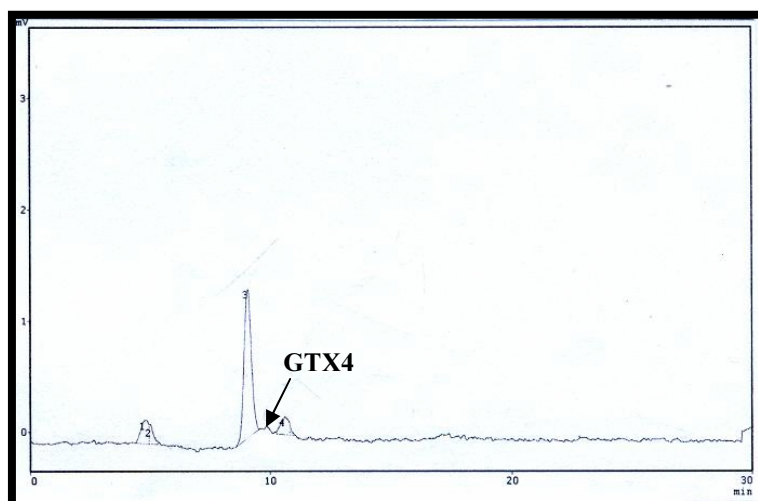


Figura C.22: Cromatograma da água pré-ozonizada (extracelular) – Ensaio 3.2

Amostra: Água filtrada (09/02) – Intracelular (Dissolvida em água)

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água filtrada (intracelular), apresentado na figura C.23, das variantes de saxitoxina analisadas, identifica-se apenas o pico cromatográfico referente à toxina GTX4.



toxina	Tempo	Área
GTX4	10,027	1213

Figura C.23: Cromatograma da água filtrada (intracelular) – Ensaio 3.2

GTX4

Área GTX4: 1213

$\text{Área} \times \text{Fator} = \text{Área} \times \text{Fator } 4^{\circ}\text{PGTX} = 1213 \times 0,10233 \text{ pg/área} = 124,13 \text{ pg}$

Volume filtrado da amostra – 750mL/ Volume do extrato da amostra – 7mL

Volume do extrato injetado – 50µL

$$\begin{array}{ll} 124,13\mu\text{g} \rightarrow & 50\mu\text{L} \\ X \mu\text{g} \rightarrow & 7000\mu\text{L (volume da extração que equivale aos 750 mL filtrado)} \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} X = 17378,20\mu\text{g} & \\ 17378,20\mu\text{g} \rightarrow & 750\text{mL} \\ X\mu\text{g} \rightarrow & 1000\text{mL} \end{array}$$

$$X = 23170,93\mu\text{g/L} = 0,02\mu\text{g/L}$$

GTX4 = 0,02 $\mu\text{g/L}$

Considerando a concentração da variante de saxitoxina encontrada para amostra da água filtrada do ensaio 3.2 (intracelular), pode-se expressar a concentração em equivalentes de saxitoxina para esta amostra conforme a tabela C.3.14.

Tabela C.3.14 - Concentração de saxitoxinas para amostra de água filtrada (intracelular) do ensaio 3.2

Toxina	Toxicidade relativa	Concentração ($\mu\text{g/L}$)	Concentração ($\mu\text{g/L eq. STX}$)
GTX4	0,7261	0,02	0,01
		Total	0,01

Amostra: Água filtrada (09/02) – Extracelular (Dissolvida em água)

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água filtrada do ensaio 3.2 (extracelular = dissolvida em água), apresentado na figura C.24, **não se identificam** picos cromatográficos referentes às toxinas analisadas.

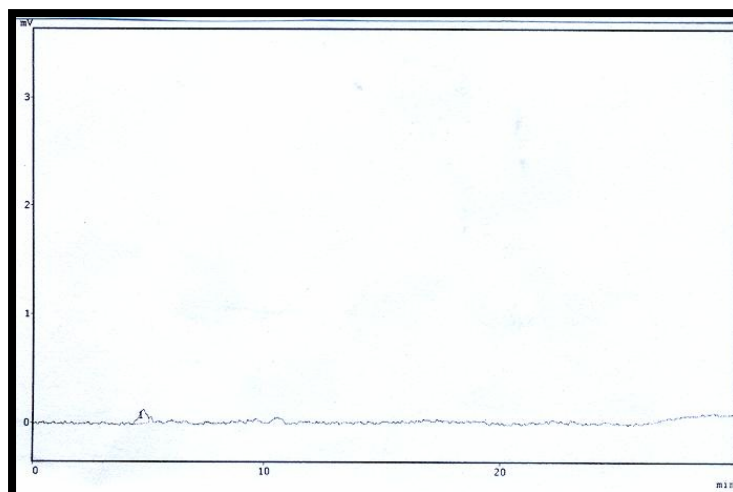


Figura C.24: Cromatograma da água filtrada (extracelular) – Ensaio 3.2

Análise cromatográfica em relação à STX, dcSTX e NEO**Amostra: Água bruta (09/02) - Intracelular**

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água bruta do ensaio 3.2 (intracelular), apresentado na figura C.27, não se identificam picos cromatográficos referentes às toxinas STX, dcSGTX e NEO.

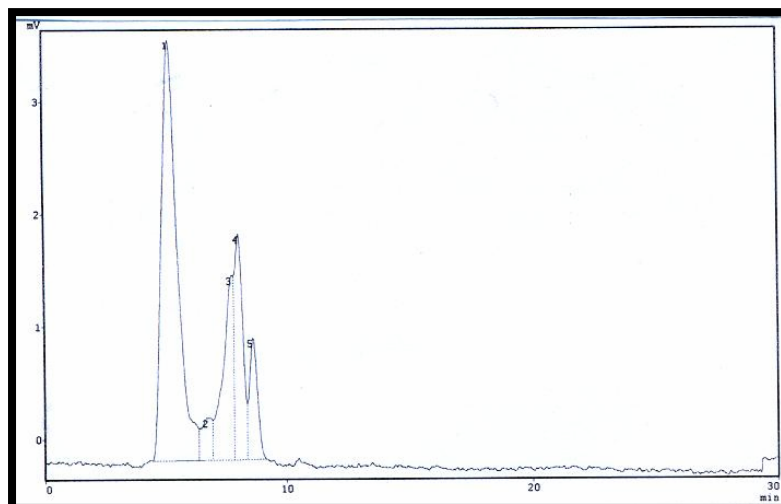


Figura C.27: Cromatograma da água bruta (intracelular) – Ensaio 3.2

Amostra: Água bruta (23/02) – Extracelular (Dissolvida em água)

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água bruta do ensaio 3.2 (extracelular), apresentado na figura C.28, não se identificam picos cromatográficos referentes às toxinas STX, dcSGTX e NEO.

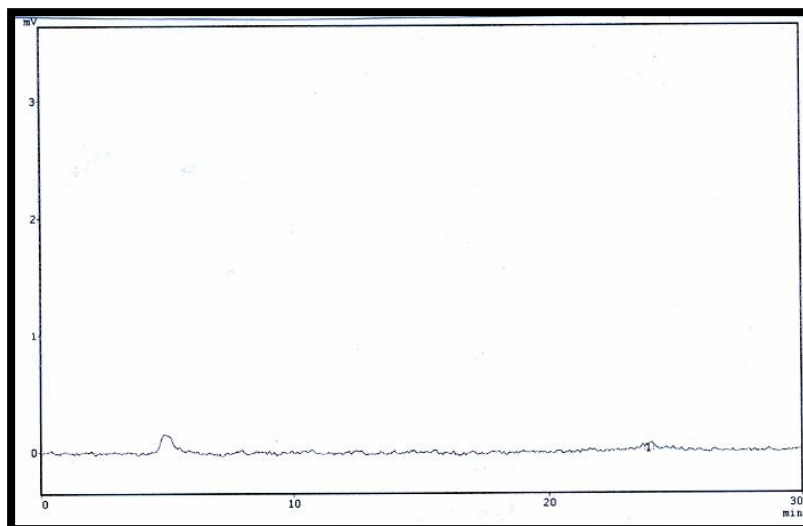
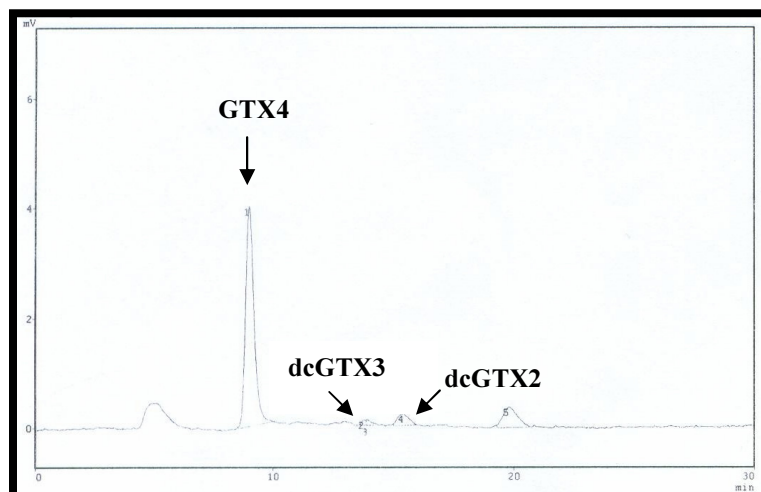


Figura C.28: Cromatograma da água bruta (extracelular) – Ensaio 3.2

Ensaio 3.3 – Sequência de tratamento composta de pré-ozonização e filtração direta descendente realizada em 21/02.

Amostra: Água bruta (21/02) - Intracelular

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água bruta do ensaio 3.3 (intracelular), apresentado na figura C.29, identificam-se picos cromatográficos referentes às toxinas GTX4, dcGTX3 e dcGTX2.



toxina	tempo	Área
GTX4	8,993	98744
dcGTX3	13,801	2378
dcGTX2	15,432	6934

Figura C.29: Cromatograma da água bruta (intracelular) – Ensaio 3.3

GTX4

Área GTX4: 98744

Área x Fator = Área x Fator 2° PGTX = $98744 \text{ área} \times 0,16256 \text{ pg/área} = 16051,82 \text{ pg}$

Volume filtrado da amostra – 750mL/ Volume do extrato da amostra – 7mL

Volume do extrato injetado – 50μL

$$\begin{array}{lcl} 16051,82 \text{ pg} & \rightarrow & 50 \mu\text{L} \\ X \text{ pg} & \rightarrow & 7000 \mu\text{L (volume da extração que equivale aos 750 mL filtrado)} \end{array}$$

$$X = 2247254,80 \text{ pg}$$

$$\begin{array}{lcl} 2247254,80 \text{ pg} & \rightarrow & 750 \text{ mL} \\ X \text{ pg} & \rightarrow & 1000 \text{ mL} \end{array}$$

$$X = 2996339,73 \text{ pg/L} \cong 3,00 \mu\text{g/L}$$

GTX4 = 3,00 μg/L

dcGTX3

Área dcGTX3: 2378

Área x Fator = Área x Fator 2° PGTX = $2378 \text{ área} \times 0,19615 \text{ pg/área} = 466,44 \text{ pg}$

Volume filtrado da amostra – 750mL/ Volume do extrato da amostra – 7mL

Volume do extrato injetado – 50μL

$$\begin{array}{lcl} 466,44 \text{ pg} & \rightarrow & 50 \mu\text{L} \\ X \text{ pg} & \rightarrow & 7000 \mu\text{L (volume da extração que equivale aos 750 mL filtrado)} \end{array}$$

$$X = 65301,60 \text{ pg}$$

$$\begin{array}{ll} 65301,60\mu\text{g} \rightarrow & 750\text{mL} \\ X\mu\text{g} \rightarrow & 1000\text{mL} \end{array}$$

$$X = 87068,80\mu\text{g/L} \cong 0,09\mu\text{g/L}$$

$$\mathbf{dcGTX3 = 0,09\mu\text{g/L}}$$

dcGTX2

Área dcGTX2: 6934

Área x Fator = Área x Fator 2°PGTX = 6934 área x 0,02363pg/área = 163,85pg

Volume filtrado da amostra – 750mL/ Volume do extrato da amostra – 7mL

Volume do extrato injetado – 50μL

$$\begin{array}{ll} 163,85\mu\text{g} \rightarrow & 50\mu\text{L} \\ X\mu\text{g} \rightarrow & 7000\mu\text{L (volume da extração que equivale aos 750 mL filtrado)} \end{array}$$

$$X = 22939,00\mu\text{g}$$

$$\begin{array}{ll} 22939,00\mu\text{g} \rightarrow & 750\text{mL} \\ X\mu\text{g} \rightarrow & 1000\text{mL} \end{array}$$

$$X = 30585,33\mu\text{g/L} \cong 0,03\mu\text{g/L}$$

$$\mathbf{dcGTX2 = 0,03\mu\text{g/L}}$$

Considerando as concentrações das variantes de saxitoxina encontradas na amostra da água bruta do ensaio 3.3 (intracelular), pode-se expressar a concentração em equivalentes de saxitoxina para esta amostra conforme a tabela C.3.15.

Tabela C.3.15 - Concentração de saxitoxinas para amostra de água bruta (intracelular) do ensaio 3.3

Toxina	Toxicidade relativa	Concentração (μg/L)	Concentração (μg/L eq. STX)
GTX4	0,7261	3,00	2,18
dcGTX2	0,1538	0,03	0,00
dcGTX3	0,3766	0,09	0,03
		Total	2,21

Amostra: Água bruta (21/02) – Extracelular (Dissolvida em água)

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água bruta do ensaio 3.3 (extracelular = dissolvida em água), apresentado na figura C.30, **não se identificam** picos cromatográficos referentes às toxinas analisadas.

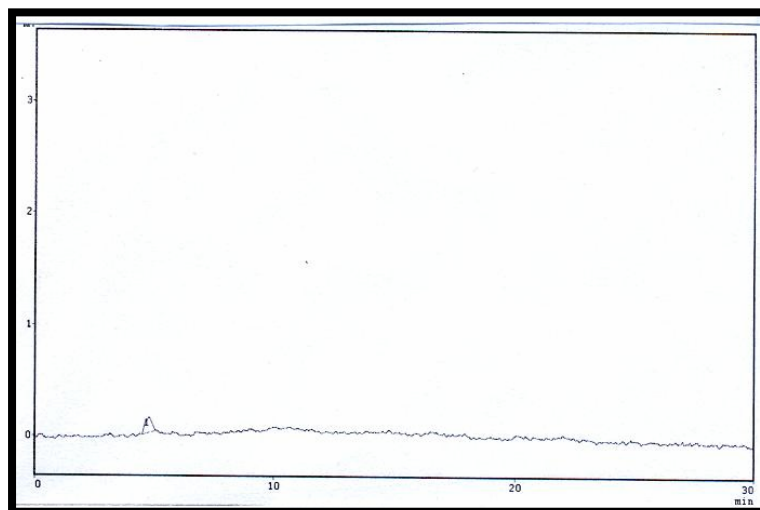
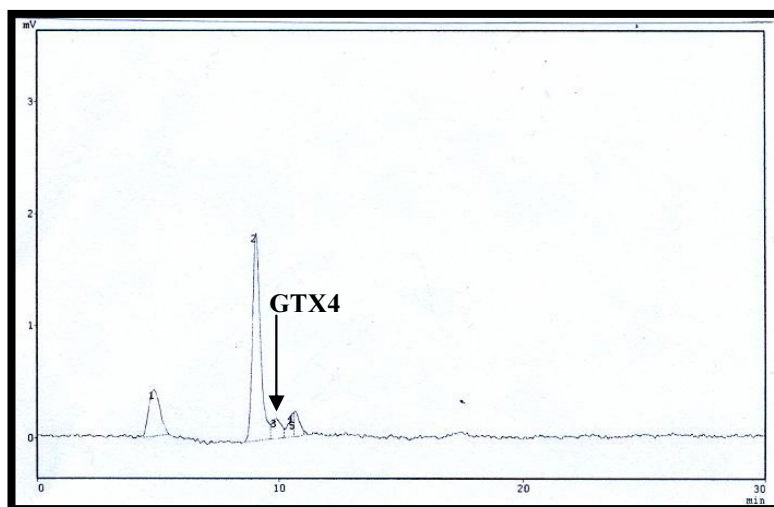


Figura C.30: Cromatograma da água bruta (extracelular) – Ensaio 3.3

Amostra: Água pré-ozonizada (21/02) – Intracelular

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água pré-ozonizada (intracelular), apresentado na figura C.31, das variantes de saxitoxina analisadas, identifica-se apenas o pico cromatográfico referente à toxina GTX4.



Toxina	Tempo	Área
GTX4	9,865	4680

Figura C.31: Cromatograma da água pré-ozonizada – Ensaio 3.3

GTX4

Área GTX4: 4680

Área x Fator = Área x Fator 4° PGTX = 4680 área x 0,10233pg/área = 478,90pg

Volume filtrado da amostra – 750mL/ Volume do extrato da amostra – 7mL

Volume do extrato injetado – 50μL

478,90pg → 50μL
 Xpg → 7000μL (volume da extração que equivale aos 750 mL filtrado)

X = 67046,20pg

67046,20pg → 750mL

Xpg → 1000mL

$$X = 89394,67 \mu\text{g/L} \cong 0,09 \mu\text{g/L}$$

GTX4 = 0,09 $\mu\text{g/L}$

Considerando a concentração da variante de saxitoxina encontrada na amostra da água pré-ozonizada do ensaio 3.3 (intracelular), pode-se expressar a concentração em equivalentes de saxitoxina para esta amostra conforme a tabela C.3.16.

Tabela C.3.16 - Concentração de saxitoxinas para amostra de água pré-ozonizada (intracelular) do ensaio 3.3

Toxina	Toxicidade relativa	Concentração ($\mu\text{g/L}$)	Concentração ($\mu\text{g/L}$ eq. STX)
GTX4	0,7261	0,09	0,07
		Total	0,07

Amostra: Água pré-ozonizada (21/02) – Extracelular (Dissolvida em água)

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água pré-ozonizada do ensaio 3.3 (extracelular = dissolvida em água), apresentado na figura C.32, **não se identificam** picos cromatográficos referentes às toxinas analisadas.

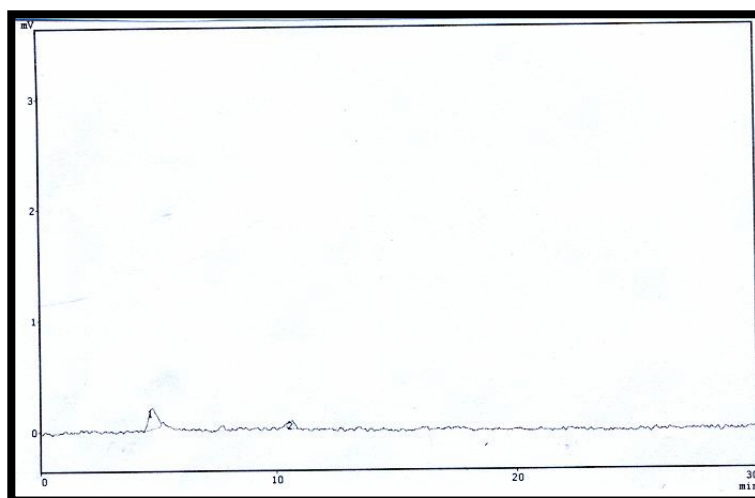
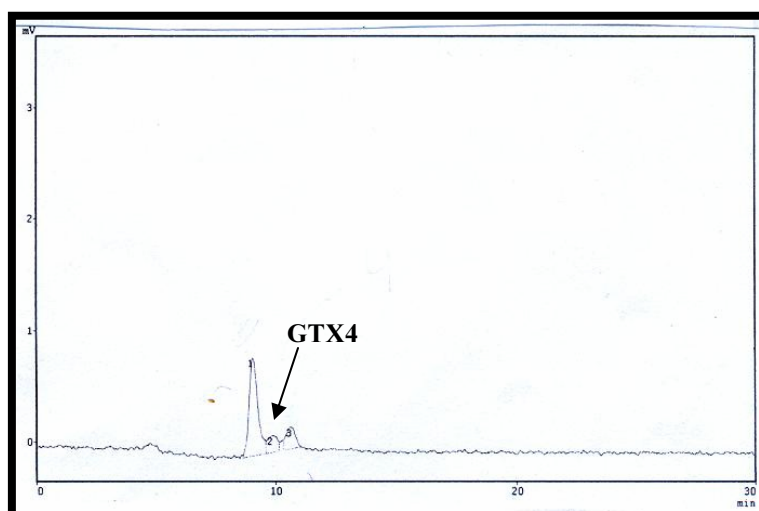


Figura C.32: Cromatograma da água pré-ozonizada (extracelular) – Ensaio 3.3

Amostra: Água filtrada (21/02) – Intracelular

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água (intracelular), apresentado na figura C.33, das variantes de saxitoxina analisadas, identifica-se apenas o pico cromatográfico referente à toxina GTX4.



toxina	tempo	Área
GTX4	9870	1713

Figura C.33: Cromatograma da água filtrada (intracelular) – Ensaio 3.3

GTX4

Área GTX4: 2300

Área x Fator = Área x Fator 4°PGTX = 1713 área x 0,10233 $\mu\text{g}/\text{área}$ = 175,29 μg

Volume filtrado da amostra – 750mL/ Volume do extrato da amostra – 7mL

Volume do extrato injetado – 50 μL

$$\begin{array}{ll} 175,29 \mu\text{g} \rightarrow & 50 \mu\text{L} \\ X \mu\text{g} \rightarrow & 7000 \mu\text{L (volume da extração que equivale aos 750 mL filtrado)} \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} X = 24540,60 \mu\text{g} & \\ 24540,60 \mu\text{g} \rightarrow & 750 \text{mL} \\ X \mu\text{g} \rightarrow & 1000 \text{mL} \end{array}$$

$$X = 32720,80 \mu\text{g}/\text{L} \cong 0,03 \mu\text{g}/\text{L}$$

GTX4 = 0,03 $\mu\text{g}/\text{L}$

Considerando a concentração da variante de saxitoxina encontrada para amostra da água filtrada do ensaio 3.3 (intracelular), pode-se expressar a concentração em equivalentes de saxitoxina para esta amostra conforme a tabela C.3.17.

Tabela C.3.17 - Concentração de saxitoxinas para amostra de água filtrada (intracelular) do ensaio 3.3

Toxina	Toxicidade relativa	Concentração ($\mu\text{g}/\text{L}$)	Concentração ($\mu\text{g}/\text{L}$ eq. STX)
GTX4	0,7261	0,03	0,02
Total			0,02

Amostra: Água filtrada (21/02) – Extracelular (Dissolvida em água)

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água filtrada do ensaio 3.3 (extracelular = dissolvida em água), apresentado na figura C.34, **não se identificam** picos cromatográficos referentes às toxinas analisadas.

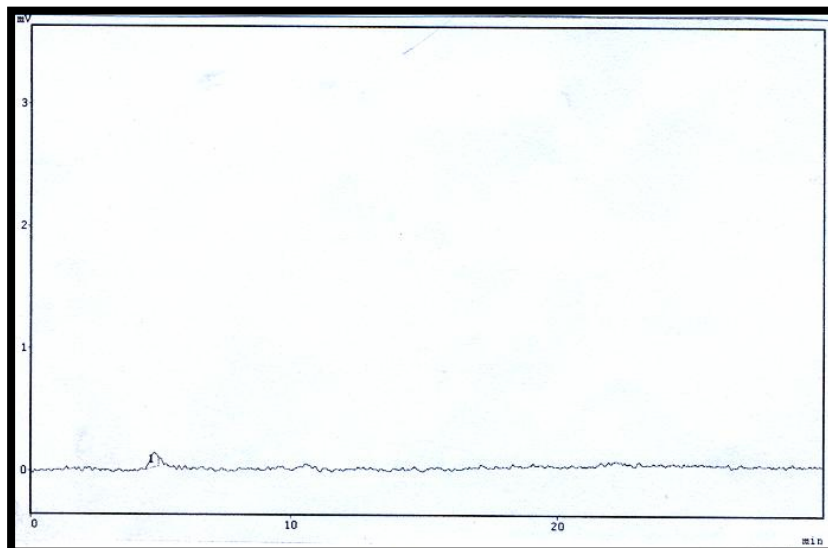


Figura C.34: Cromatograma da água filtrada (extracelular) – Ensaio 3.3

Análise cromatográfica em relação à STX, dcSTX e NEO**Amostra: Água bruta (21/02) - Intracelular**

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água bruta do ensaio 3.3 (intracelular), apresentado na figura C.35, não se identificam picos cromatográficos referentes às toxinas STX, dcSGTX e NEO.

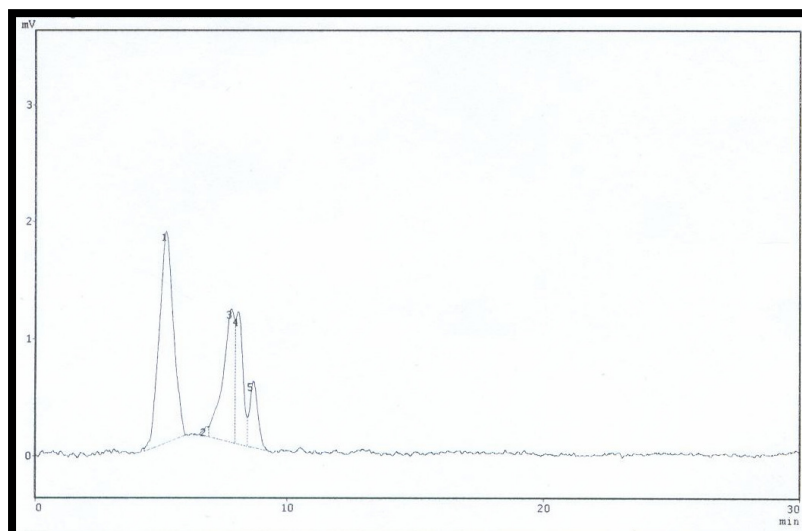


Figura C.35: Cromatograma da água bruta (intracelular) – Ensaio 3.3

Amostra: Água bruta (21/02) – Extracelular (Dissolvida em água)

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água bruta do ensaio 3.3 (extracelular), apresentado na figura C.36, não se identificam picos cromatográficos referentes às toxinas STX, dcSGTX e NEO.

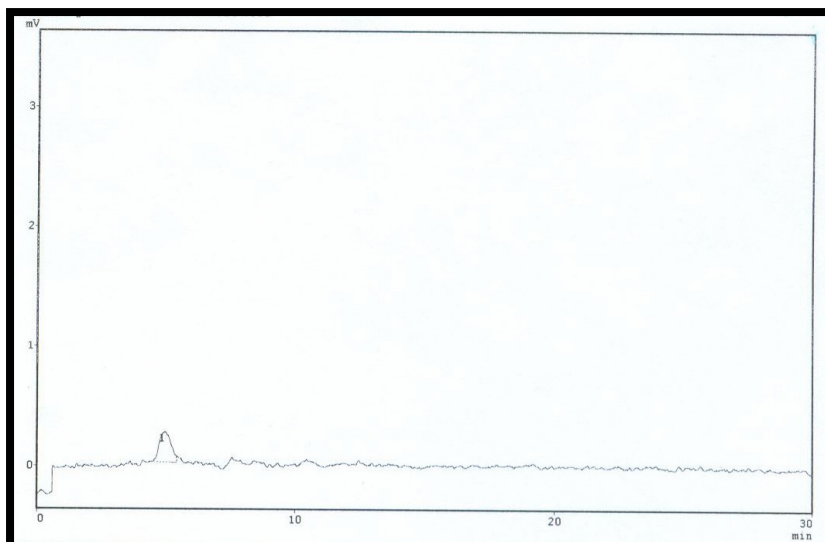


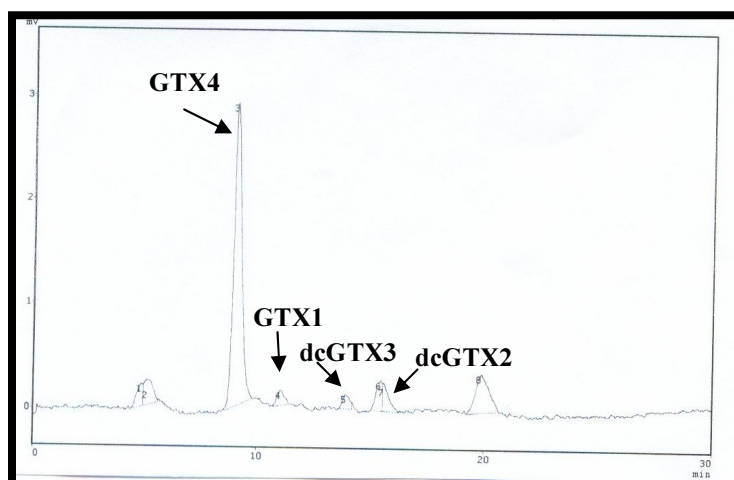
Figura C.36: Cromatograma da água bruta (extracelular) – Ensaio 3.3

Ensaio 3.4 – Sequência de tratamento composta de filtração direta descendente e pós-ozonização realizada em 23/02.

Análise cromatográfica em relação à GTX1, GTX2, GTX3, GTX4, GTX5, dcGTX2 e dcGTX3

Amostra: Água bruta (23/02) - Intracelular

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água bruta do ensaio 3.4 (intracelular), apresentado na figura C.37, identificam-se picos cromatográficos referentes às toxinas GTX4, GTX1, dcGTX3 e dcGTX2.



toxina	tempo	Área
GTX4	9,017	71163
GTX1	11,015	3278
dcGTX3	13,912	2935
dcGTX2	15,487	10257

Figura C.37: Cromatograma da água bruta (intracelular) – Ensaio 3.4

GTX4

Área GTX4: 71163

Área x Fator = Área x Fator 2°PGTX = 71163 área x 0,16256pg/área = 11568,26pg

Volume filtrado da amostra – 750mL/ Volume do extrato da amostra – 7mL

Volume do extrato injetado – 50µL

$$\begin{array}{lcl} 11568,26\text{pg} \rightarrow & 50\mu\text{L} & \\ X\text{pg} \rightarrow & 7000\mu\text{L (volume da extração que equivale aos 750 mL filtrado)} & \\ X = 1619556,40\text{pg} & & \end{array}$$

$$\begin{array}{lcl} 1619556,40\text{pg} \rightarrow & 750\text{mL} & \\ X\text{pg} \rightarrow & 1000\text{mL} & \\ X = 2159408,53\text{pg/L} \cong 2,16\mu\text{g/L} & & \end{array}$$

GTX4 = 2,16µg/L

GTX1

Área GTX1: 3278

Área x Fator = Área x Fator 2°PGTX = 3278 área x 0,16503pg/área = 540,97pg

Volume filtrado da amostra – 750mL/ Volume do extrato da amostra – 7mL

Volume do extrato injetado – 50µL

$$\begin{array}{lcl} 540,97\text{pg} \rightarrow & 50\mu\text{L} & \\ X\text{pg} \rightarrow & 7000\mu\text{L (volume da extração que equivale aos 750 mL filtrado)} & \end{array}$$

$$\begin{array}{lcl} X = 75735,80\text{pg} & & \\ 75735,80\text{pg} \rightarrow & 750\text{mL} & \\ X\text{pg} \rightarrow & 1000\text{mL} & \end{array}$$

$$X = 100981,07\text{pg/L} \cong 0,10\mu\text{g/L}$$

GTX1 = 0,10µg/L

dcGTX3

Área dcGTX3: 2935

Área x Fator = Área x Fator 2°PGTX = 2935 área x 0,19615pg/área = 575,70pg

Volume filtrado da amostra – 750mL/ Volume do extrato da amostra – 7mL

Volume do extrato injetado – 50µL

$$\begin{array}{lcl} 575,70\text{pg} \rightarrow & 50\mu\text{L} & \\ X\text{pg} \rightarrow & 7000\mu\text{L (volume da extração que equivale aos 750 mL filtrado)} & \end{array}$$

$$\begin{array}{lcl} X = 80598,00\text{pg} & & \\ 80598,00\text{pg} \rightarrow & 750\text{mL} & \\ X\text{pg} \rightarrow & 1000\text{mL} & \end{array}$$

$$X = 107464,00\text{pg/L} \cong 0,11\mu\text{g/L}$$

dcGTX3 = 0,11µg/L

dcGTX2

Área dcGTX2: 10257

Área x Fator = Área x Fator 2°PGTX = 10257 área x 0,02363pg/área = 242,37pg

Volume filtrado da amostra – 750mL/ Volume do extrato da amostra – 7mL

Volume do extrato injetado – 50µL

242,37pg → 50µL
 Xpg → 7000µL (volume da extração que equivale aos 750 mL filtrado)
 X = 33931,80pg

33931,80pg → 750mL
 Xpg → 1000mL
 X = 45242,40pg/L \cong 0,05µg/L

dcGTX2 = 0,05µg/L

Considerando as concentrações das variantes de saxitoxina encontradas para amostra da água bruta do ensaio 3.4 (intracelular), pode-se expressar a concentração em equivalentes de saxitoxina para esta amostra conforme a tabela C.3.18.

Tabela C.3.18 - Concentração de saxitoxinas para amostra de água bruta (intracelular) do ensaio 3.4

Toxina	Toxicidade relativa	Concentração (µg/L)	Concentração (µg/L eq. STX)
GTX1	0,9940	0,10	0,10
GTX4	0,7261	2,16	1,57
dcGTX2	0,1538	0,05	0,01
dcGTX3	0,3766	0,11	0,04
		Total	1,72

Amostra: Água bruta (23/02) – Extracelular (Dissolvida em água)

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água bruta do ensaio 3.4 (extracelular = dissolvida em água), apresentado na figura C.38, **não se identificam** picos cromatográficos referentes às toxinas analisadas.

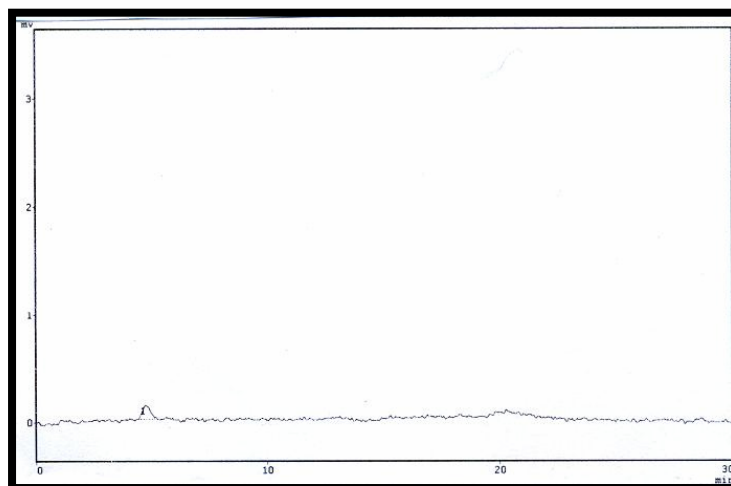
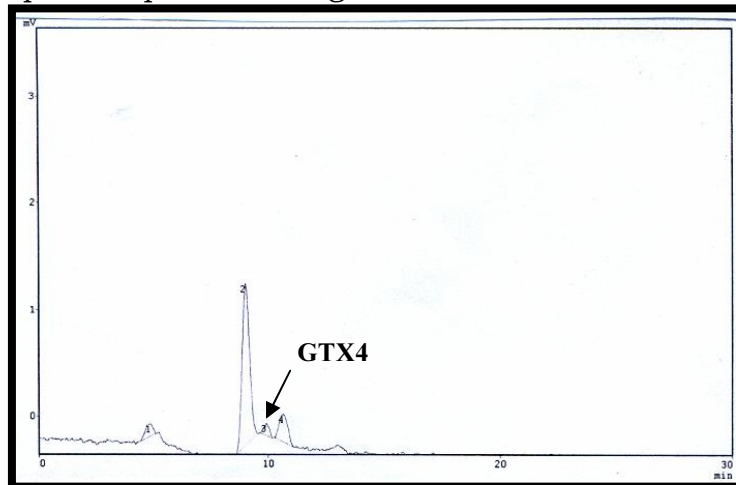


Figura C.38: Cromatograma da água bruta (extracelular) – Ensaio 3.4

Amostra: Água filtrada (23/02) – Intracelular

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água filtrada (intracelular), apresentado na figura C.39, das variantes de saxitoxina analisadas, identifica-se apenas o pico cromatográfico referente à toxina GTX4.



Toxina	Tempo	Área
GTX4	9,900	1855

Figura C.39: Cromatograma da água filtrada (intracelular) – Ensaio 3.4

GTX4

Área GTX4: 1855

Área x Fator = Área x Fator 2°PGTX = 1855 área x 0,16256pg/área = 301,55pg

Volume filtrado da amostra – 750mL/ Volume do extrato da amostra – 7mL

Volume do extrato injetado – 50µL

$$\begin{array}{lcl} 301,55\text{pg} \rightarrow & 50\mu\text{L} & \\ X \text{ pg} \rightarrow & 7000\mu\text{L (volume da extração que equivale aos 750 mL filtrado)} & \end{array}$$

$$\begin{array}{lcl} X = 42217,00\text{pg} & & \\ 42217,00\text{pg} \rightarrow & 750\text{mL} & \\ X \text{ pg} \rightarrow & 1000\text{mL} & \end{array}$$

$$X = 56289,33\text{pg/L} = 0,06\mu\text{g/L}$$

GTX4 = 0,06µg/L

Considerando a concentração da variante de saxitoxina encontrada para amostra da água filtrada do ensaio 3.4 (intracelular), pode-se expressar a concentração em equivalentes de saxitoxina para esta amostra conforme a tabela C.3.19.

Tabela C.3.19 - Concentração de saxitoxinas para amostra de água filtrada (intracelular) do Ensaio 3.4

Toxina	Toxicidade relativa	Concentração (µg/L)	Concentração (µg/L eq. STX)
GTX4	0,7261	0,06	0,04
Total			0,04

Amostra: Água filtrada (23/02) – Extracelular (Dissolvida em água)

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água filtrada (extracelular = dissolvida em água) do ensaio 3.4, apresentado na figura C.40, **não se identificam** picos cromatográficos referentes às toxinas analisadas.

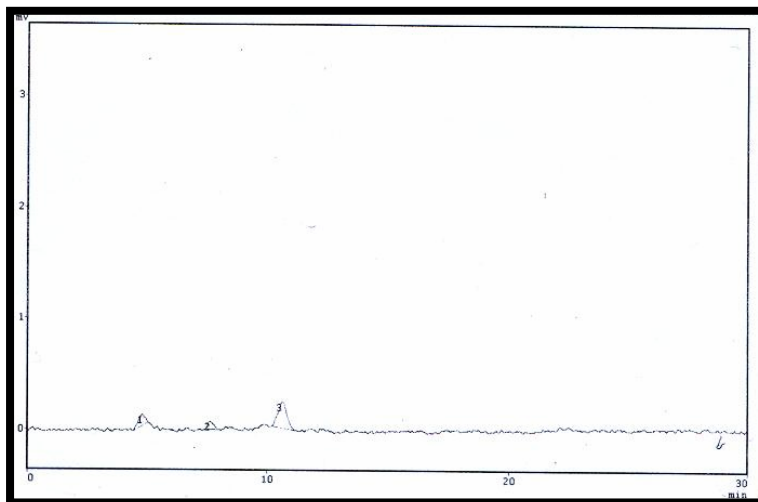
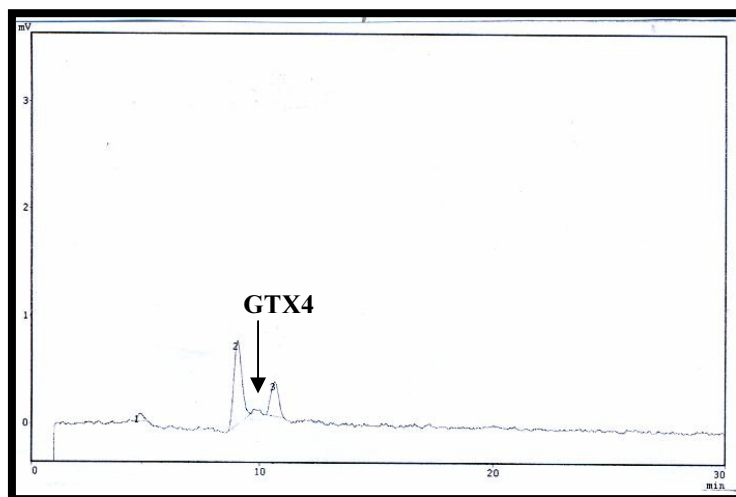


Figura C.40: Cromatograma da água filtrada (extracelular) – Ensaio 3.4

Amostra: Água pós-ozonizada (23/02) – Intracelular

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água pós-ozonizada (intracelular), apresentado na figura C.41, das variantes de saxitoxina analisadas, identifica-se apenas o pico cromatográfico referente à toxina GTX4.



Toxina	Tempo	Área
GTX4	10,616	2300

Figura C.41: Cromatograma da água pós-ozonizada (intracelular) – Ensaio 3.4

GTX4

Área GTX 4:1713

Área x Fator = Área x Fator 2°PGTX = 2300área x 0,10233pg/área = 235,36pg

Volume filtrado da amostra – 750mL/ Volume do extrato da amostra – 7mL

Volume do extrato injetado – 50µL

$$\begin{array}{ll}
 235,36\mu\text{g} \rightarrow & 50\mu\text{L} \\
 X\mu\text{g} \rightarrow & 7000\mu\text{L} \text{ (volume da extração que equivale aos 750 mL filtrado)} \\
 X = 32950,40\mu\text{g}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
 32950,40\mu\text{g} \rightarrow & 750\text{mL} \\
 X\mu\text{g} \rightarrow & 1000\text{mL}
 \end{array}$$

$$X = 43933,87\mu\text{g/L} \cong 0,04\mu\text{g/L}$$

GTX4 = 0,04 $\mu\text{g/L}$

Considerando a concentração da variante de saxitoxina encontrada na amostra da água pós-ozonizada do ensaio 3.4 (intracelular), pode-se expressar a concentração em equivalentes de saxitoxina para esta amostra conforme a tabela C.3.20.

Tabela C.3.20 - Concentração de saxitoxinas para amostra de água pós-ozonizada (intracelular) do Ensaio 3.4

Toxina	Toxicidade relativa	Concentração ($\mu\text{g/L}$)	Concentração ($\mu\text{g/L}$ eq. STX)
GTX4	0,7261	0,04	0,03
		Total	0,03

Amostra: Água pós-ozonizada (23/02) – Extracelular (Dissolvida em água)

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água pós-ozonizada (extracelular = dissolvida em água) do ensaio 3.4, apresentado na figura C.42, **não se identificam** picos cromatográficos referentes às toxinas analisadas.

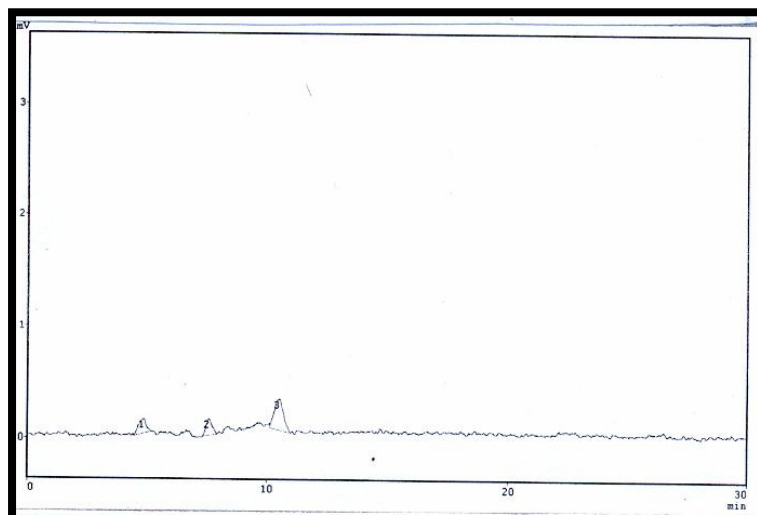


Figura C.42: Cromatograma da água pós-ozonizada (extracelular) – Ensaio 3.4

Análise cromatográfica em relação à STX, dcSTX e NEO**Amostra: Água bruta (23/02) - Intracelular**

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água bruta do ensaio 3.4 (intracelular), apresentado na figura C.43, não se identificam picos cromatográficos referentes às toxinas STX, dcSGTX e NEO.

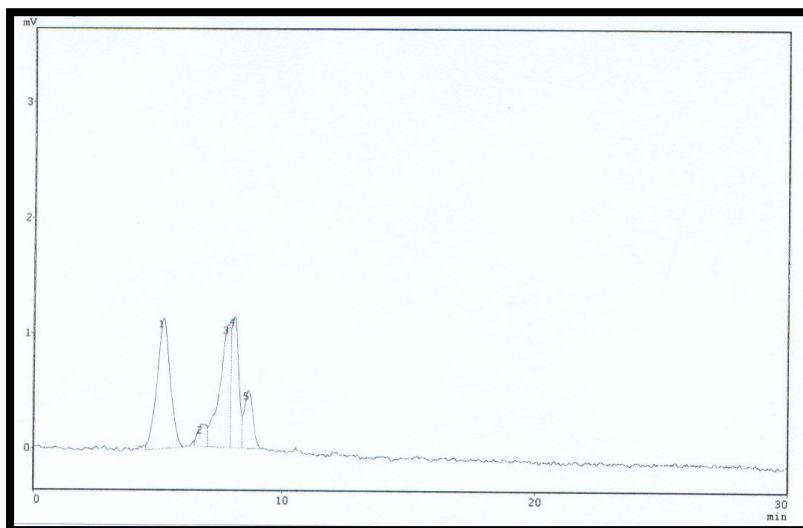


Figura C.43: Cromatograma da água bruta (intracelular) – Ensaio 3.4

Amostra: Água Bruta (23/02) – Extracelular (Dissolvida em água)

Avaliando-se o cromatograma da amostra de água bruta do ensaio 3.4 (extracelular), apresentado na figura C.44, não se identificam picos cromatográficos referentes às toxinas STX, dcSGTX e NEO.

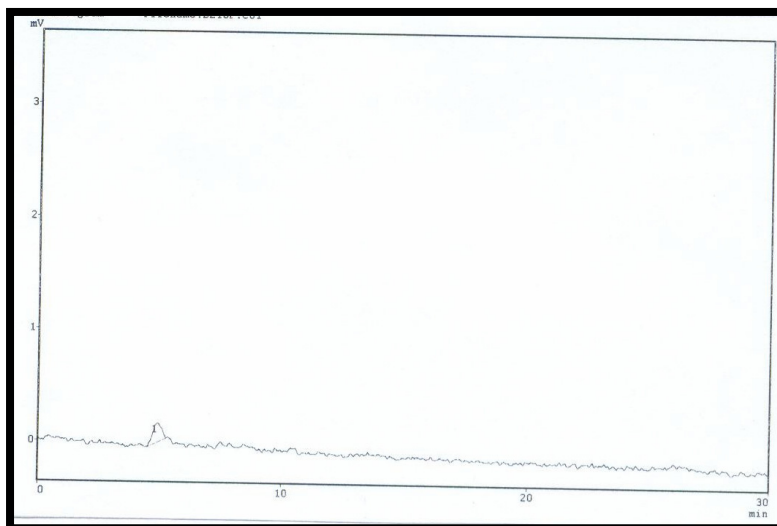


Figura C.44: Cromatograma da água bruta (extracelular) – Ensaio 3.4

8. BIBLIOGRAFIA

- AGGIO, C. E. G. (1993). **A comunidade biótica dos filtros lentos de areia**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. Brasil.
- AMIRTHARAJAH, A. (1988). Some theoretical and conceptual views of filtration. **Jounal AWWA**, vol. 80, n. 12, p. 36 – 46, Dec.
- APHA, WEF, AWWA.(1992).**Standard methods for examination of water and wastewater**. 14 th ed. Washington, p. 10-1-10-54.
- APHA, WEF, AWWA. (1989). **Standard methods for examination of water and wastewater**. 17th ed. Washington.
- AZEVEDO, S. M. F. (1998). Toxinas de Cianobactéria: Causas e Conseqüências para a Saúde Pública. **Medicina on Line**, volume 1, Ano 1, nº3. Julho/Agosto/Setembro.
- AZEVEDO, S. M. F. (1996).Toxic Cyanobacteria and the Caruaru Tragedy. **In: IV Simpósio da Sociedade Brasileira de Toxicologia** – Livro de Resumos. p.84.
- BASSANI, L. (2003). **Desinfecção de efluente sanitário por ozônio; parâmetros operacionais e avaliação econômica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – UFSC, Florianópolis. Brasil.
- BERNHARDT, H.; CLASEN, J. (1994). Investigations into the Flocculation Mechanisms of Small Algae Cells. **WATER SRT – Aqua**, vol. 43, n. 5, p. 222-232, Oct. London, U.K.
- BERNHARDT, H.; CLASEN, J. (1991). Flocculation of microorganisms. **Jounal Water SRT – Aqua**; 40(2): 76 – 86.
- BOLLYKY, L. J.; SILER, J. (1989). Removal of tributyl phosphate from aqueous solution by advanced ozone oxidation methods. **Proceedings of the Ninth Ozone World Congress**, june, 3 – 9, New York, USA.

- BOUVY, M.; MOLICA, R.J.R; NASCIMENTO, S. M. (1999). Cianobactérias: risco em águas de abastecimento. **Ciência Hoje**, outubro. p. 67 – 69.
- BRANCO, S. M. (1986). **Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária**. 3. ed. São Paulo: CETESB.
- BRANDÃO, C. C. S.; LACERDA, M. R. S.; ABREU, M. C. (1996). Influência do tempo de floculação na filtração Direta de águas com baixa turbidez e teor elevado de algas. **In: Anais do VII Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental**, João Pessoa, Brasil.
- BRASIL - MINISTÉRIO DA SAÚDE. (2004). **Portaria nº518, de 25 de março de 2004**. Diário Oficial da União de 26 de março de 2004, nº 59, seção I: 166 - 176.
- BRASIL - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. (2005). **Resolução nº 357 do CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE**. 17/03/05. Brasília. DF.
- BURKS, R.; SCHNEEGURT, M. (2003). Imagem *Cylindrospermopsis raciborskii*. Disponível em <www-cyanosite.bio.purdue.edu/imagens.html> acesso em 02 de janeiro de 2003.
- BRUCHET, A.; BERNAZEAU, F.; BAUDIN, I.; PIERONNE, P. (1998). Algal toxins in surface waters: analysis and treatment. **Water Supply**. 16 (1/2): 619 – 23.
- CARLILE, P. R. (1994). **Further studies to investigate microcystin – LR and anatoxin-a removal from water** (Report FR0458). Foundation for Water Reserarch, Buckinghamshire, Marlow.
- CARMICHAEL, W. W. (1994). The toxins of cyanobacteria. **Scientific American**, 270, 78 – 86.
- CARMICHAEL, W. W. (1992). Cyanobacteria secondary metabolites – the cyanotoxins. **Journal of Applied Bacteriology**, 72, 445 – 459.

- CARVALHO PINTO - SILVA, C. R. (2005). **Incidência de fitoplâncton tóxico na costa catarinense: impacto na saúde pública e no meio ambiente**. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). UFSC. Florianópolis. Santa Catarina.
- CHORUS I.; KLEIN G; FASTNER J.; ROTARD W. (1993). Off-Flavors in surface waters, how efficient is bank filtration for their abatement in drinking water. **Wat. Sci. Technol.**, 25(2): 251-258.
- CLEASBY, J. L. (1990). Filtration. **In: Water Quality and Treatment: A handbook of community water supplies**. AWWA, 4. Ed. USA. McGraw-Hill.
- COELHO, E. R. C. (2002). **Influência da pré-oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio na remoção de atrazina em filtros lentos de areia e carvão ativado granular**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos.
- COLLINS, A. G.; GRASSO, D.; FARVARDIN, M. R. (1989). **Evaluating preozonation as an aid to coagulation-flocculation processes. Proceedings of Ninth Ozone World Congress**, June 3-9, New York, USA.
- CRAIG, K.; MAJEROWSKI, A.; BOWEN, B.; EVANS, G. M.; STEPHENS, A. (1998). Algal toxin and NOM removal using Ozone-BAC process under Australian conditions. **In: Proceedings of the WaterTECH Conference**, April 26 – 29. Brisbane, Australia.
- CROUÉ, J.P.; AIKEN, G. R; AMY, G. L. and DEBROUX J.F. and LEENHEER J.A. (1999). Natural organic matter structural characteristics and reactive properties. **In: Formation and Control of Disinfection By-products in Drinking Water**. AWWA, Denver, USA, p.65-93.
- CROZES, G.; WHITE P. e MARSHALL M. (1995). Enhanced coagulation: its effect on NOM removal and chemical costs. **Journal AWWA**, 87(1), 78-89.
- CUNHA N.T.; YUNES J.S.; COSTA, A. H.R.; PROENÇA, L. A. O. (2003). Registro de toxinas paralisantes produzidas por *Cylindrospermopsis raciborskii* na região

- sul do Brasil. **2º Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental. Itajaí, Santa Catarina. Anais.**
- DALSASSO, R. L. (2005). **Estudo de diferentes materiais para floculação em meio granular, precedendo a filtração rápida descendente no tratamento de água para abastecimento.** Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). UFSC. Florianópolis. Santa Catarina. Brasil.
- DALSASSO, R. L. (1999). **Pré-ozonização de águas contendo agrotóxico, seguida de filtração direta.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). UFSC. Florianópolis. Santa Catarina. Brasil.
- DI BERNADO, L; MENDES, C. G. N.; BRANDÃO, C. C. S.; SENS, M.L.; PÁDUA, V.L. (2003). **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta.** PROSAB 3. Rio de Janeiro: ABES, RIMA Editora, p. 498.
- DI BERNADO, L; DI BERNARDO, A; CENTURIONE-FILHO, P. L. (2002). **Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água.** RIMA Editora, São Carlos. São Paulo. p. 237.
- DI BERNARDO, L. (1995). **Algas e suas influências na qualidade das águas e nas tecnologias de tratamento.** Rio de Janeiro: ABES. p.140.
- DI BERNARDO, L. (1993). **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água.** v.I e II. Rio de Janeiro. Ed. Luiz Di Bernado – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Brasil.
- DI BERNADO, L. (1992). Remoção de algas em sistemas de filtração direta descendente. **1º Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 29 março - 03 abril, 1992, Rio de Janeiro, Brasil.
- DI BERNARDO, L.; ROCHA, O. (1990). Remoção de algas em pré-filtro de fluxo ascendente com meio granular de pedregulho e areia grossa. **IV Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Jul./ Ago. Belo Horizonte, Brasil.

- DI BERNARDO, L.; ROCHA, O.; VARESCHE, M. B. (1990). A Influência de algas planctônicas no desempenho de filtros lentos de areia. **IV Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Jul./Ago. Belo Horizonte, Brasil.
- DI MATTEO, M.L. (1992). **Influência da pré-ozonização na coagulação-floculação de água de abastecimento utilizando o cloreto férrico como coagulante**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil. Unicamp. São Paulo.
- DORÉ, M. (1989). **Chimie des oxydants et traitement des eaux**. Technique et Documentation-Lavoisier.
- DOWBIGGIN, W. B.; SINGER, P. C.(1989). Effects of natural organic matter and calcium on ozone-induced particle destabilization. **Journal AWWA**, (81) 8:77 – 84.
- DRAGO, J. A. (1989). Planning for future ozonation facilities at existing water treatment plants. **Proceedings of the Ninth Ozone World Congress**. June, 3–9, New York, USA.
- DUSSERT, B. W.; STONE, G. R. (1994). The Biological activated carbon process for water purification. **WATER, Engineering & Management**, Dec.
- EDZWALD, J. K.; BECKER, W. C.; TAMBINI, S. J. (1987). Organics, polymers, and performance in direct filtration. **Journal of Environmental Engineering**. V. 113, n. 1, p. 167 – 185, Feb.
- EPA (1999). **Alternative disinfectants and oxidants guidance manual**. United States Environmental Protection Agency. EUA. Apr. 246p.
- FALCONER, I. R.; RUNNEGAR, M. T. C.; BUCKLEY, T.; HUYN, V. L.; BRADSAW, P. (1989). Using activated carbon to remove toxicity from drinking water containing cyanobacteria blooms. **Journal of the AWWA**, 81(2): 102-5.

- FERREIRA, S. S. F.; LAGE, F.A. F. (1997).Comportamento químico do alumínio e do ferro em meio aquoso e implicações no tratamento de água. **Revista SANARE**, p.50-58.
- FLEMING, L. E.; BEAN, J. A. AND BADEN, D.G. (1995). Epidemiology and public health. Manual on Harmful Marine Microalgae. **IOC: Manual and Guides, UNESCO**, p. 475-486.
- FREITAS, J.C.(1995).Toxinas de algas fitoplanctônicas. **Manual de Métodos Ficológicos**, p. 311-327.
- FUNASA – MINISTÉRIO DA SAÚDE – BRASIL. (2003). **Cianobactérias tóxicas: Impacto na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano**. Brasília. DF.
- GARCIA, T. (2002). **Avaliação da eletroflotação na remoção de algas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental).UFSC. Florianópolis. Santa Catarina.Brasil.
- GRELLMANN, C. (2006). **Aspectos da morfologia e da ecologia de *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszinska) Seenayya et Subba Raju e da produção de cainotoxinas na Lagoa do Peri, Florianópolis, SC, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, Santa Catarina. Brasil.
- GOULD, J. P.; ULIRSCH, G. V. (1989). Development of a structure based predictive model for overrrall ozonation kinetics of nitrophenols. **Proceedings of Ninth Ozone World Congress**, June, 3 – 9, New York, USA.
- HALL, S.; STRICHARZ, G.; MOCZYDLOWSKI, E.; RAVINDRAN, A.; REICHARDT, P.B.(1990). The saxitoxins: sources, chemistry and pharmacology. **In: HALL, S.; STRICHARZ, G. (Eds.) Marine toxins: Origin, structure and molecular pharmacology**. American Chemical Society Symposium Series, Vol. 418. American Chemical Society, Washington, DC, 29 – 65.

- HALLEGRAEFF, G. M. (1995). Harmful algae blooms: a global overview. **Manual on Harmful Marine Microalgae, IOC/Unesco**, v, 33, p,1-23.
- HARMFUL ALGAE NEWS. (1992). <www.unesco.org/ioc/news/newslet/.html>.
- HART, J.; FAWELL, J. K.; CROLL, B. (1998). The fate of both intra-and extracellular toxins during drinking water treatment. **Water Supply**; 16 (1/2): 611-6.
- HART, J.; STOTT, P. (1993). **Microcystin-LR removal from water (Report FR0367)**. Foundation for water Research, Buckinghamshire, Marlow.
- HASLE, G.R. (1978). The inverted-microscope method. In: SOURNIA, A. (Ed.) **Phytoplankton manual**. Paris, UNENESCO, 337 p.
- HIMBERG, K.; KEIJOLA, A. M.; HIISVIRTA, L. (1989). The effect of water treatment processes on the removal of hepatotoxins from *Microcystis* and *Oscillatoria* cyanobacteria: A laboratory study. **Water Research**. 23 (8) : 979 – 984.
- HITZFELD, B. C.; HOEGER, S. J.; DIETRICH, D. R. (2000). Cyanobacterial toxins; Removal during drinking water treatment, and human risk assement. **Environmental Health Perspectives**, 108 (10): 113 – 122.
- HOEGER, S. J.; DIETRICH, D. R.; HITZFELD, B. C. (2002). Effect of ozonation on the removal of cyanobacterial toxins during water treatment. **Environmental health perspectives**. 110 (11). 1127 – 1132.
- HOGNÉ, J.; BADER, H. (1983). Rate constants of reactions of ozone with organic and inorganic compounds in water – In: Non- dissociating organic compounds, **Water Res.**, v.30, p.173-183.
- HORECKÁ, M.; KOMÁRWEK, J. (1979). **Taxonomic position of three planktonic blue-green algae from the genera *Aphanizomenon* and *Cylindrospermopsis***. Preslia. 51: 289 – 312.
- HOUSE, J.; HO, L.; NEWCOMBE, G.; BURCH, M.(2004). Management strategies for toxic blue-green algae: Literature review. **In: Global Water Research Coalition (GWRC) and CRC for Water Quality and Treatment Workshop**,

Current Research and Strategic Directions for the Management of Toxic Algae in Water and Drinking Water Supplies, Australia, p.60.

- HRUDEY, S. E ; GREGORY R. (1999). Remedial measures. In Chorus, I.; Bartram, J. editor. **Toxic Cyanobacteria in water**. London.UK.
- HUMPAGE A.; ROSITANO J.; BRETAG, A.; BROWN, R.; BAKER, P.; NICHOLSON, B.; STEFFENSEN, D. (1994). Paralytic shellfish poisons from australian cyanobacterial blooms. **Aust. J. Mar. Freshwater Res.** 45, 761-770.
- HUSZAR, V. L. M.; SILVA, L. H. S.; MARINHO, M. M.; DOMINGOS, P. (1994). Cyanoprokaryote assemblages in eight productive tropical brazilian waters. **In The tropical spectrum revisited**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p.67-77.
- JARDIM, F. A.; VIANA, T. H. (2003). Análise de algas – cianobactérias e cianotoxinas como parâmetros de controle de tratamento de água para abastecimento. **22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Joinville, Brasil.
- JARDIM, F. A.; FONSECA, Y. M. F.; VIANNA, L. N. L. (2002). Cianobactérias tóxicas: a implantação de um banco de culturas no laboratório metropolitano da COPASA – MG. **IX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**.
- JANSSENS, J.G.; MUS, I.; DELIRE, C. (1988). Special subject 11 – Practice of rapid filtration. **In: Proceedings of The IWSA Congress**. Rio de Janeiro, Brasil.
- JONES, G. J.; NEGRI, A. P. (1997). Persistence and degradation of cyanobacterial paralytic shellfish poisons (PSPs) in freshwaters. **Water Research**; 31: 525 – 33.
- KAEDING, U.; FAULKNER, M.; DRIKAS, M. (1999). Ozone treatment of a water containing high concentrations of natural organic matter. **In: Proceedings of the 18th Federal AWWA Convention**, April 11- 14. Adelaide, Australia.

- KAWAMURA, S. (2000). Preliminary studies. **In: Integrated design and operation of water treatment facilities**. 2. Ed. United States of America: John Wiley & Sons.
- KERTÉSZ, E. N. M. (1999). Presença de *Cylindrospermopsis raciborskii* em duas sub-bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul, Brasil. **Resumos do VII Congresso Brasileiro de Limnologia**, Florianópolis, p. 630.
- KOMÁRKOVÁ, J. (1998). The tropical planktonic genus *Cylindrospermopsis* (Cyanophytes, Cyanobacteria). **In Anais do IV Congresso Latino-Americano de Ficologia**. São Paulo. V.1, p. 327 – 340.
- LAGE FILHO, F. A.; FERREIRA FILHO, S. S. (1997). Estudo piloto de tratabilidade de águas eutrofizadas: efeitos da pré-oxidação com cloro livre no processo de filtração. **In: Anais do 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**.
- LAGOS, N.; ONODERA, H.; ZAGATTO, P. A.; ANDRINOLO, D.; AZEVEDO, S. M. F.; OSHIMA, Y. (1999). The first evidence of paralytic shellfish toxins in the freshwater cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii*, isolated from Brazil. **Toxicon**. 37. P. 1359 –1373.
- LAM, A. K. Y., PREPAS, E. E.; SPINK, D.; HRUDEY, S. E. (1995). Chemical control of hepatotoxic phytoplankton blooms: Implications for human health. **Water Research**. 29 (8), 1845 – 1854.
- LAM, A. K. Y., HRUDEY, S. E. (1994). Quantitation of the microcystin hepatotoxins in water at environmentally relevant concentrations with the protein phosphate bioassay. **Environmental Science & Technology**, 28 (4): 753 – 755.
- LANGLAIS, B. et al. (1991). **Ozone in water treatment: application and engineering**. American Water Works Association Research Foundation: Compagnie Générale des Eaux., Lewis Publishers, 569 p., USA.

- LAPLANCHE, A.; SAUZE, N. L.; LANGLAIS, B. (1989). Simulation of ozone transfer in water comparison with a pilot unit. **Proceedings of Ninth Ozone World Congress**, June, 3 – 9, New York, USA, 1989.
- LAUDARES-SILVA, R. (1999). **Aspectos limnológicos, variabilidade espacial e temporal na estrutura da comunidade fitoplactônica da Lagoa do Peri, Santa Catarina, Brasil**. 1999. Tese (Doutorado) Univeridade Federal de São Carlos – UFSCar. São Carlos. São Paulo.
- LONGHURST, S. J.; GRAHAM, N. J. D. (1987). Dissolved air flotation for potable water treatment – A survey of the operation units in GreatBritain. **The Public Health Engineer**, v.14, n.6, Apr. England.
- LUNG, J. W. G.; KIPLING, C.; LECREN, E. D. (1958). The inverted microscope method of estimating algal number and the statistical basis of estimating by counting. **Hidrobiologia**, 11: 143 m- 170.
- MASSCHELEIN, W. J. (1988). Design rules of ozonation systems. **Proceedings of International Ozone Symposium**, September, Rio de Janeiro, Brazil.
- MATTHIENSEN, A. (2001). Monitoramento de cianobactérias potencialmente produtoras de toxinas no corpo lagunar da Lagoa do Peri, Florianópolis, SC. **Relatório Final da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento – CASAN** – p.18.
- MATTHIENSEN, A.; YUNES, J. S.; CODD, G. A. (1999). Ocorrência, distribuição e toxicidade de cianobactérias no estuário da Lagoa dos Patos, RS. **Revista Brasileira de Biologia**, 59: 361 – 376.
- MELO FILHO, L. C. (1997). **Efeito da pré-ozonização na geração de lodo em processos de coagulação/floculação no tratamento de efluentes têxteis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental).UFSC. Florianópolis. Santa Catarina. Brasil.

- MONDARDO, R. I. (2004). **Influência da pré-oxidação na tratabilidade das águas via filtração direta descendente em manancial com elevadas concentrações de microalgas e cianobactérias**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). UFSC. Florianópolis. Santa Catarina. Brasil.
- MOUCHET, P.; BONNÉLYE, V. (1998). Solving algae problems: French expertise and world-wide applications. **J. Water SRT, Aqua.**, 47: 125-141.
- NAGAVI, B.; MALONE, R. F. (1986). Algae removal by fine sand/silt filtration. **Water Research**, 20 (3): 377 – 83.
- NAYME C. (1997). **Etude de la dégradation par ozonation de deux colorants utilisés en teinture; recherche de sous-produits, études cinétiques et influence sur les applications industrielles**. Tese de Doutorado. n ° 1673 - Université rennes I, Rennes, França.
- NEWCOMBE, G.; NICHOLSON, B.C. (2002). Treatment options for the saxitoxin class of cyanotoxins. **Water Science & Technology: Water Supply**. 2 (5-6), 271 – 275.
- NEWCOMBE, G.(2002). Removal of algal toxins from drinking water using ozone and GAC. **AWWA Research Foundation Report**, American Water Works Association, Denver, CO.
- NUSCH, E. A. (1980). Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. **Arch. Hydrobiol. Beih. Stuttgart**, 14: 14-36.
- OSHIMA Y. et al. (1995). Post-column derivatization HPLC methods for paralytic shellfish poisons.1995. **In: G.M. Hallegraeff, D.M. Anderson and A.D. Cembella [Eds] Manual on Harmful Marine Microalgae, IOC Manual and Guides**. n° 33,81 -94.
- PADISÁK, J. (1997). *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya et Subba Raju, an expanding, highly adaptative cyanobacterium: worldwide

- distribution and review of its ecology. **Arch. Hydrobiol., Stuttgart**, 107 (4): 563 – 593.
- PÁDUA, V. L. (2001). Filtação direta descendente – Investigação experimental da coagulação, floculação e filtração em instalação piloto. **Relatório de atividades – PROSAB 3**. Universidade Federal do Ceará.
- PALMER, M. (1958). **Algae in Water Supplies – Manual for water works operators and Others Concerned with Algae in Relation to Water Quality Department of Health, Education and Welfare** – Robert, A. Taft Sanitary Engineering Center, Cincinnati, USA.
- PROENÇA, L. A.; LAGOS, N.; RÖRIG, L.; SILVA, M. AND GUIMARÃES, S.(1999) Occurrence of paralytic shellfish toxins - PST in south brasilian waters. **Ciência e Cultura**, v. 51:1, p. 16-21.
- REALI, M. A. P.; GIANOTTI, E. P. (1993). Remoção de algas por flotação: testes de laboratório. **In: Anais do 17 ° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e ambiental**. Vol. II, p. 229 – 242.
- RICE et al. (1981). Use of ozone in drinking water treatment. **Journal AWWA**, p. 44-47, Jan..
- ROSET, J.; AGUAYO, S.; MUÑOZ, M. J. (2001). Detección de cianobactérias y sus toxinas. Una revisión, **Rev. Toxicol.**, 18:65-71.
- ROSITANO, J.; NEWCOMBE, G.; NICHOLSON, B.C.; SZTAJNBOK, P. (2001). Ozonation of NOM and algal toxins in four treated waters. **Water Research**. 35 (1), 23 – 32.
- ROSITANO, J.; NICHOLSON, B. C.; PIERONNE, P. (1998). Destruction of cianobacteria toxins by ozone. **Ozone Sci. Eng.**, 20, 223-238.
- ROSITANO, J. (1996). The destruction of cyanobacterial peptide toxins by oxidants used in water treatment. **Urban Water Research Association of Australia Report**. nº 110, Melbourne, Australia.

- ROSITANO, J.; NICHOLSON, B. C.; BURCH, M. D. (1994). Destruction of cyanobacterial peptide hepatotoxins by chlorine and chloramines. **Water Research**, 28(8): 1297-300.
- SANT'ANNA, C. L.; TUCCI, A. (2003). *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenaya & Subba Raju (Cyanobacteria): weekly variation and relation with environmental factors in an eutrophic lake, São Paulo, SP, Brazil. *Nova Hedwigia* 71:359 – 385.
- SENS, M.L.; MELO FILHO, L.C.; MONDARDO, R.I.; PROENÇA, L.A.O. (2005). Efficiency of ozonization as pre- or post-treatment to the direct descent filtration for the removal of cyanobacteria and saxitoxins. **Anais do AGUA 2005 – De la acción local a las metas globales**. Santiago de Cali, Colombia.
- SENS, M.L.; MONDARDO, R.I.; MELO FILHO, L.C.; LAUDARES SILVA, R. (2004). Estudo comparativo entre cloração e ozonização empregados como pré-tratamento à filtração direta descendente na remoção de microalgas e cianobactérias. **Anais do XXIX Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**. San Juan, Porto Rico.
- SENS, M.L.; MONDARDO, R.I.; MELO FILHO, L.C. (2004). Avaliação da ozonização como pré-tratamento à filtração direta descendente no processo de potabilização de água com alta concentração de algas. **Anais do XI Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Natal, Rio Grande do Norte, Brasil.
- SENS, M. L.; DALSASSO, R. L.; MELO FILHO, L.C.; MONDARDO, R. I.; SIMIONI, D.; BÖEL, H. e EMMENDOERFTER, M. (2002). **Relatório de Atividades – PROSAB** - Edital 3 – Tema I.p.22.
- SENS, M. L. et al.(1990). Effects of anionic mineral species on decomposition of ozone in water. **Revue Des Science De L'Eau**, 3, 325-341.

- SHAWWA, A. R.; SMITH, D. W. (2001). Kinetics of microcystin-LR oxidation by ozone. **Ozone: Science & Engineering**, 23 (2), 161-170.
- SILVEIRA, A. A. (2003). **Emprego de micropeneiramento como pré-tratamento à filtração direta na tratabilidade de águas com elevada concentração de algas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). UFSC. Florianópolis. Santa Catarina. Brasil.
- STEYNBERG, M.C.; PIETERSE, A.J.H.; GELDENHUYS, J.C. (1996). Improved coagulation and filtration of algae as a result of morphological and behavioural changes due to pre-oxidation. **Journal of Water SRT-Agua** .45 (6), 292-298.
- STUCKI, S. (1987). **Process technologies for water treatment**. Brown Boveri Research Center, Baden, Switzerland. pp. 150 –151.
- TEXEIRA, M. G. L.C.; COSTA, M.C. N.; CARVALHO, V. L. P.; PEREIRA, M. S.; HAGRE, E.(1993). Gastroenteritis epidemic in the area of the Itaparica, Bahia, Brazil. **Bulletin of PAHO**, 27(3): 244-253.
- TORGAN, L. C. (1997). **Estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica na Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil, em um ciclo anual**. Tese (Doutorado) Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. São Carlos. São Paulo.
- TREWEEK, G.P. (1979). Optimization of flocculation time prior to direct filtration. **Journal AWWA**, vol. 71 n.2, p. 96 – 101, Feb.
- TUHKANEN, T.A. et al. (1994). The Effect of preozonation, ozone/hydrogen peroxide treatment, and nanofiltration on the removal of organic matter from drinking water. **Ozone Science & Engineering**, v. 16, pp. 367-383.
- USEPA. (1999). **Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual**. EPA 815R99014..

- VARESCHE, M.B.A. (1989). **Estudos sobre as interferências de algas no sistema de filtração lenta**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil.
- WESTERHOFF P.; AIKEN G.; AMY, G.; DEBROUX, J. (1999). Relationships between the structure of NOM and its reactivity molecular ozone hydroxyl radicals. **Water Res.**, 33(10), 2265-2276.
- WAGNER, E. G.; HUDSON Jr., H. E. (1982). Low-dosage high-rate direct filtration. **Journal of AWWA**, v. 74, n. 5, p. 256 – 261.1982.
- WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. (1999). **Toxic cyanobacteria in water: A guide to their public health consequences, monitoring and management**. 1999. Edited by Ingrid Chorus and Jaime Bartram.London.UK.
- WIESNER, M. R.; O'MELIA, C. R.; COHON, J. L. (1987). Optimal water treatment plant design. **Journal of Environmental Engineering**, v. 113, n. 3, p. 567 – 584, Jun..
- YUNES J.S.; CUNHA N.T.; BARROS, I. P.; PROENÇA, L. A. O.; MONSERRAT, J. M. (2003). Cyanobacterial neurotoxins from southern brazilian freshwaters. **Comments on Toxicology**, 9: 103-115.
- YUNES J.S.; CUNHA N.T.; CONTE S. M.; RABELLO I.M.; GIORDANI A.T.; BENDATTI M.M.; MAIZONAVE C.M.; GRANADA G.L. e HEIN R.P. (2000). Programa AGUAAN: Agilização do Gerenciamento e Utilização de Águas com Algas Tóxicas. In: **Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**; 2000; Porto Alegre, Brasil.